

DIE TELEGRAPHIE OHNE DRAHT

VON

A. RIGHI UND B. DESSAU

BRAUNSCHWEIG
FRIEDR. VIEWEG & SOHN







DIE

TELEGRAPHIE OHNE DRAHT

DIE

TELEGRAPHIE OHNE DRAHT

VON

AUGUSTO RIGHI

O. PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT BOLOGNA

UND

BERNHARD DESSAU

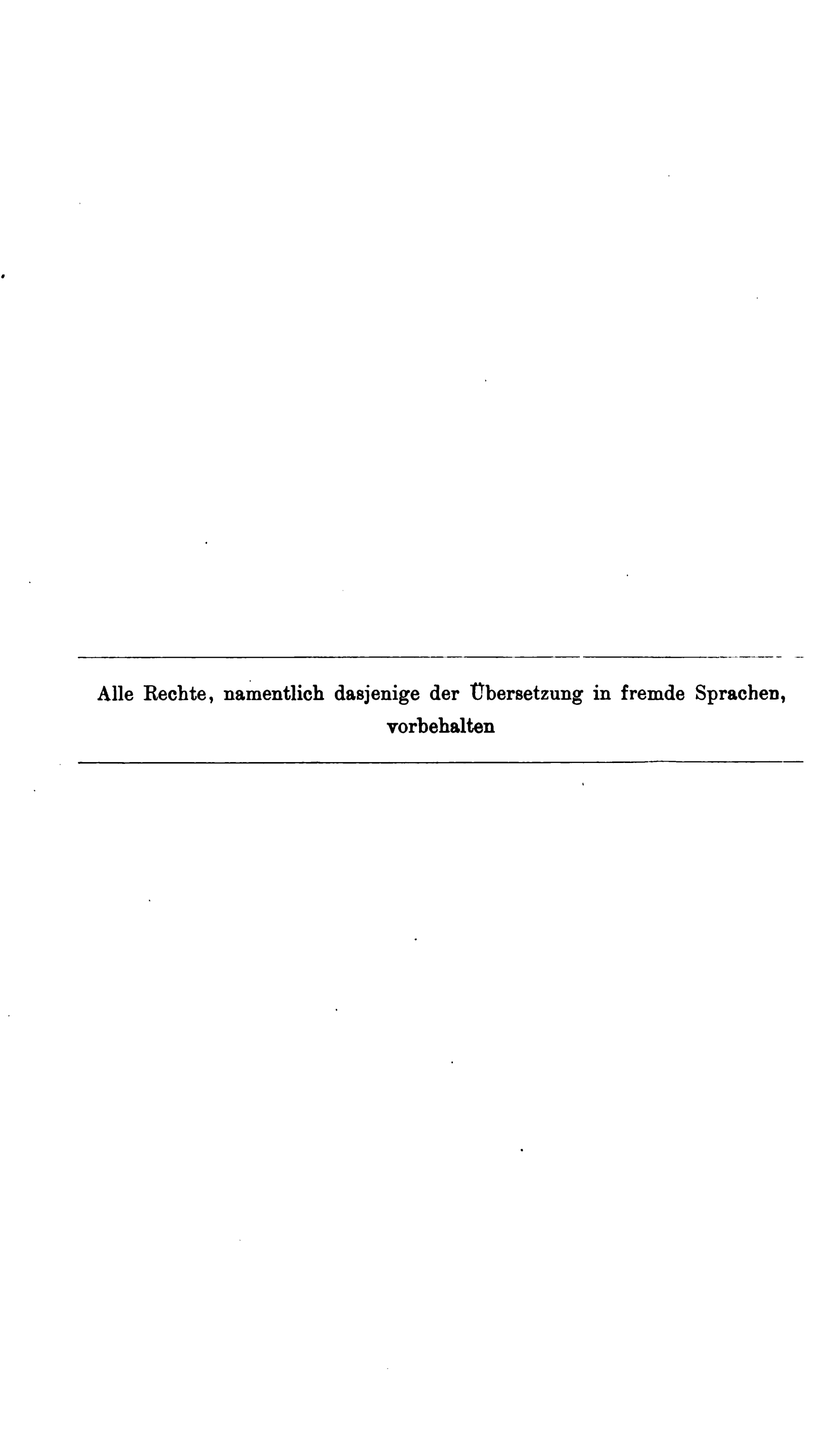
PRIVATDOZENT AN DER UNIVERSITÄT BOLOGNA

MIT 258 EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN

BRAUNSCHWEIG

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN

1903



VORWORT.

Das Buch über Telegraphie ohne Draht, welches wir hiermit, einer Aufforderung der Verleger Vieweg in Braunschweig und Zanichelli in Bologna folgend, gleichzeitig in deutscher und italienischer Sprache dem Publikum darbieten, erhebt nicht den Anspruch, ein im eigentlichen Sinne wissenschaftliches Werk zu sein. Dasselbe wendet sich an den grofsen Kreis der allgemein gebildeten Leser. Ihnen will es eine möglichst vollständige Kenntnis der Prinzipien vermitteln, auf denen die von Guglielmo Marconi geschaffene neue Anwendung der elektrischen Wellen beruht; gleichzeitig will es ihnen die Entwicklung vor Augen führen, welche die Methoden und Hilfsmittel der drahtlosen Telegraphie, Dank dem Scharfsinn Marconis und zahlreicher anderer Erfinder, unter den beständig wachsenden Anforderungen der Praxis genommen haben.

In der Telegraphie durch elektrische Wellen haben Tatsachen und Apparate, die schon vorher bekannt waren, in hervorragender Weise Anwendung gefunden; Experimente, die lediglich die reine Wissenschaft zu interessieren oder als Ausgangspunkt philosophischer Spekulationen geeignet schienen, wurden durch eine geniale Tat mit einem Male mitten in das praktische und industrielle Gebiet verpflanzt. Die Resultate, welche die neue Erfindung alsbald aufzuweisen hatte, haben allerorts die Phantasie mächtig angeregt und ein tiefgehendes Interesse selbst in Kreisen gefunden, die ihre Tragweite nicht richtig zu bewerten vermochten, ja vielleicht nicht einmal mit den Grundlagen bekannt waren, auf denen sie sich aufbaut.

Hier will unser Buch einsetzen. Gewifs sind vielen unserer Leser die fundamentalen Lehrsätze der Physik von der Schule her noch in Erinnerung, aber es fehlte ihnen an Zeit oder Gelegenheit, um die rapide Entwicklung zu verfolgen, welche unsere Kenntnis der elektrischen Erscheinungen durch die bahnbrechenden Forschungen eines Maxwell, die genialen Schöpfungen eines Hertz und die rastlose Arbeit aller derer, die den Spuren jener Grofsen nachgegangen sind, in den letzten Jahren genommen hat.

Um dem Bedürfnisse eines solchen Leserkreises zu entsprechen, mufste ein ziemlich umfangreicher erster Teil des Buches einen gedrängten Überblick über den heutigen Stand der Elektrizitätslehre darbieten, weil anderenfalls der zweite Teil, welcher sich mit der Entstehung und den Eigenschaften der elektrischen Wellen befafst, nicht leicht verständlich sein würde. Nach dieser Einführung, über die der eine oder andere Leser hinweggehen mag, findet man im dritten Teile das eigentliche Thema des Buches behandelt.

Nach dem Titel, welchen wir für unser Buch gewählt haben, sollten in demselben streng genommen nicht allein die Telegraphie durch elektrische Wellen, sondern auch alle anderen Mittel zur Übertragung von Signalen in die Ferne, welche einen die beiden Stationen verbindenden Leitungsdraht nicht beanspruchen, Erwähnung finden. Unter diesen Mitteln erschienen uns jedoch einige, wie die optische Telegraphie, schon genügend bekannt; ihre Wichtigkeit ist auch nur eine beschränkte, oder sie beruhen auf Erscheinungen, die mit den elektrischen nichts gemein haben. Sie sind deshalb in unserem Buche unberücksichtigt geblieben.

Anders verhält es sich mit jenen Systemen der drahtlosen Telegraphie, welche zwar ebenfalls nicht die eigentlichen elektrischen Wellen, aber doch andere Erscheinungen aus dem Gebiete der Elektrizität, wie die Induktion oder Leitung, zur Grundlage haben. Die Beschreibung dieser Systeme findet sich in dem ersten Kapitel des dritten Teiles, zu dessen Hauptgegenstand sie eine geeignete Einleitung bildet.

Auf gewisse elektrische Wirkungen der Strahlen gründen sich einige aus jüngster Zeit stammende Systeme der Telegraphie

oder allgemeiner der Übertragung von Signalen und Tönen in die Ferne. Diese Systeme wurden ebenfalls ausführlich behandelt, nicht allein wegen der praktischen Bedeutung, die ihnen möglicherweise vorbehalten ist, sondern auch wegen der Eigenartigkeit der Erscheinungen, auf denen sie beruhen und wegen des Scharfsinnes, mit dem diese Erscheinungen nutzbar gemacht wurden. Der Beschreibung dieser Systeme ist der vierte und letzte Teil des Buches gewidmet.

Es braucht kaum hervorgehoben zu werden, dafs der Bearbeitung des dritten Teiles die Kenntnisnahme zahlreicher neuerer Veröffentlichungen sowie der vielen von dem Heer der Erfinder auf diesem Gebiete genommenen Patente vorausgehen mufste. Nur auf solche Weise liefs sich über die Prioritätsansprüche der verschiedenen Autoren ein zuverlässiges Urteil gewinnen. Die Aufgabe war demnach durchaus keine leichte und der Leser wird die Schwierigkeiten berücksichtigen, die dabei zu überwinden waren. So möge nur das eine erwähnt werden, dafs nicht selten ein gewerbsmäfsiger Erfinder an Methoden oder Instrumenten, die in der Wissenschaft bereits ihren Platz gefunden haben, eine geringfügige Änderung vornimmt, die ihm das Recht gibt, dieselben als sein geistiges Eigentum patentieren zu lassen. So sehr dieser Zustand auch dem Gerechtigkeitsgefühle widerspricht, so ist er dennoch durch die Gesetzgebung der meisten Staaten sanktioniert. Man sollte meinen, so schrieb Professor Lodge, dieser Zustand sei eigens dazu ersonnen, um dem Gelehrten, der sich aus reiner Liebe zur Wissenschaft mit experimentellen Forschungen befafst, den Gedanken an eine praktische Anwendung des von ihm gefundenen fernzuhalten. Denn anderes bleibt ihm ja nicht übrig, wenn er nicht gezwungen sein will, die Veröffentlichung seiner Ergebnisse hinauszuschieben und damit, von anderen Nachteilen ganz abgesehen, den Fortschritt der Wissenschaft zu verzögern, indem er andere Forscher verhindert, auf seinen Resultaten weiterzubauen.

Die im Vorstehenden skizzierte Aufgabe wurde unter die Verfasser verteilt und jeder hat die von ihm übernommenen Kapitel unabhängig von dem anderen bearbeitet. Gleichzeitig hat ein jeder von uns, wie es nicht anders möglich, die Heraus-

gabe des ganzen Werkes in seiner Muttersprache besorgt; dabei aber wurden die beiderseitigen Auffassungen und Ansichten unverändert wiedergegeben und jeder von uns bleibt deshalb, wie dies auch aus den unter die einzelnen Kapitel gesetzten Unterschriften unzweifelhaft hervorgeht, für sich allein für das von ihm Geschriebene verantwortlich.

Bologna, im November 1902.

Die Verfasser.

INHALT.

Erster Teil.

Die elektrischen Erscheinungen.

Erstes Kapitel.

Das elektrische Feld.

Zweites Kapitel.

Konstante elektrische Ströme.

Drittes Kapitel.

Das magnetische Feld.

Viertes Kapitel.

Der veränderliche Zustand des Stromes.

Zweiter Teil.

Die elektromagnetischen Wellen.

Erstes Kapitel.

Die elektrischen Schwingungen.

Zweites Kapitel.

Die elektrischen Wellen.

Drittes Kapitel.

Die Radiokonduktoren.

Dritter Teil.

Die elektrische Telegraphie ohne Draht.

Erstes Kapitel.

Telegraphie durch Leitung, durch elektrostatische Influenz und durch Induktion.

Zweites Kapitel.

Die Telegraphie vermittelst elektrischer Wellen.

Erster Teil.

Die elektrischen Erscheinungen.

Erstes Kapitel.

Das elektrische Feld.

---

1. Die Grundtatsachen.

Wohl in keiner Wissenschaft tritt offenkundiger als in der elektrischen die Richtigkeit der so oft wiederholten Behauptung zu Tage, dafs ein jeder Fortschritt die Ursache und Quelle ungezählter weiterer Fortschritte bildet und dafs daher das Gebiet der Wissenschaft sich mit immer wachsender Schnelligkeit verbreitert und vertieft. So begegnet man in der Geschichte der elektrischen Wissenschaft gewissen Epochen, eine jede charakterisiert durch eine Entdeckung von grundlegender Bedeutung, durch welche nicht allein die Wissenschaft um neue Tatsachen oder umfassendere Gesetze bereichert, sondern auch der Weg zu neuen Entdeckungen abgekürzt wurde.

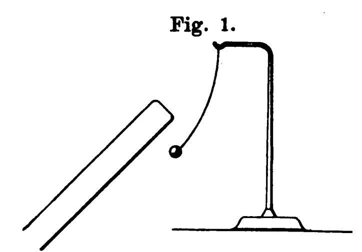
Gerade die letzten Jahre haben im Gebiete der elektrischen Erscheinungen so vielgestaltige und hervorragende Eroberungen gezeitigt, dafs selbst in den Kreisen der Gebildeten, soweit diese sich nicht speziell mit dem Studium der betreffenden Erscheinungen befassen, nur wenige in der Lage sein können, ohne weiteres vollständig zu verstehen, was z. B. elektrische Schwingungen sind und welche praktischen Anwendungen dieselben neuerdings gefunden haben. Eine zusammenfassende Beschreibung der Tatsachen und eine Darlegung ihrer Gesetze hat darum wohl ihre Berechtigung.

Wenn wir sagen, ein Körper befinde sich in elektrischem Zustande, oder auch einfach, er sei elektrisiert, so wollen wir

damit ausdrücken, dafs er infolge eigenartiger Vorgänge gewisse neue Eigenschaften erlangt hat, wie diejenige, leichte Körper anzuziehen, in den umgebenden Körpern den elektrischen Zustand hervorzurufen u. s. w.

Ein seit mehr als zwei und einem halben Jahrtausend bekanntes Mittel, in den Körpern den elektrischen Zustand zu erwecken, besteht darin, dafs man sie aneinander reibt. Der Bernstein, von dessen griechischem Namen das Wort Elektrizität stammt, zieht, wenn er gerieben worden ist, leichte Gegenstände, wie Stückchen Stroh, Papier u. s. w., an; am bequemsten beobachtet man die Erscheinung vermittelst eines an einem Seidenfaden aufgehängten leichten Kügelchens, in der Regel eines solchen aus Holundermark. Auf diese Weise gelangt man zu dem sogenannten elektrischen Pendel (Fig. 1), welches das einfachste Elektroskop darstellt. Glas, Schwefel, Harze verhalten sich ebenso wie der Bernstein; dagegen waren bei anderen Körpern, wie Metallen, Holz u. s. w., lange Zeit alle Versuche, sie zu elektrisieren, vergeblich. Später fand man die Ursache dieses letzteren Verhaltens in dem Umstande, dafs diese Körper eine allgemeine, als Leitfähigkeit bezeichnete Eigenschaft in besonders hohem Grade besitzen.

Fig. 1.



Diese Entdeckung, die wir Gray verdanken, gehört zu den Ereignissen, welche in der Geschichte der elektrischen Wissenschaft epochemachend wirkten. Die elektrische Leitfähigkeit eines Körpers ist diejenige Eigenschaft, vermöge deren der elektrische Zustand sich von den Stellen, an welchen er durch Reibung oder auf andere Weise hervorgerufen wurde, den übrigen Stellen desselben Körpers mitteilt. Diese Ausbreitung des elektrischen Zustandes vollzieht sich überaus rasch, beinahe augenblicklich in den Metallen, ungemein langsam dagegen und beinahe unbemerkbar im Glas, im Schwefel u. s. w. Deshalb bezeichnet man die Metalle als gute Leiter oder auch einfach als Leiter; die anderen Körper nennt man schlechte Leiter oder Isolatoren, besser Dielektrika.

Im Gegensatz zu den Isolatoren gibt sich somit der elektrische Zustand in den Leitern nicht allein an denjenigen Stellen des Körpers kund, welche gerieben wurden, sondern auch an solchen

Stellen, welche man nicht berührt hatte; aber diese Ausbreitung des elektrischen Zustandes geschieht auf Kosten der Intensität der erzeugten Wirkungen; bringt man etwa mit dem elektrisierten Leiter einen anderen in Berührung, so dafs der in dem ersteren vorhandene elektrische Zustand sich auch dem zweiten mitteilt, so erscheint alsbald die elektrische Eigenschaft des ersteren geschwächt und seine Anziehung erstreckt sich nur noch auf leichtere oder ihm nähere Körper als vorher.

Fig. 2.



Da nun der menschliche Körper, die Materialien, aus welchen unsere Häuser bestehen, das Wasser und die Mehrzahl der Bestandteile des Erdballes mit Bezug auf die Erscheinungen, die uns hier beschäftigen, als Leiter anzusehen sind, so erklärt es sich unschwer, weshalb man lange Zeit die Metalle und die anderen Leiter nicht zu elektrisieren verstand. Der Sachverhalt ist folgender. Ein Stück Metall, das in der Hand gehalten und gerieben wird, nimmt allerdings den elektrischen Zustand an; dieser aber verbreitet sich sofort über den Körper des Experimentators zum Fufsboden und man kann somit sagen über den ganzen Erdball; und damit mufs er in dem Metall selbst dermafsen geschwächt werden, dafs er keine merkliche Wirkung mehr zu äufsern vermag. Trennt man dagegen das Metall von der Hand und den übrigen guten Leitern durch einen schlecht leitenden Körper, den man im Hinblick auf den Zweck, den er in diesem Falle erfüllt, einen Isolator nennen kann, so gibt sich der durch Reibung ge-

weckte elektrische Zustand alsbald, etwa durch Anziehung des elektrischen Pendels oder an irgend einem anderen Elektroskop kund.

Die atmosphärische Luft und die anderen Gase verhalten sich unter den Bedingungen der Versuche, mit welchen wir uns hier befassen, als Isolatoren. Betreffs der atmosphärischen Luft ist dies offenbar, weil ja anderenfalls die beschriebenen Erscheinungen überhaupt nicht möglich wären.

Nicht immer übrigens zieht ein elektrisierter Körper einen beweglichen Körper an; es kann auch der Fall eintreten, dafs er ihn abstöfst. In der Tat entdeckte man bei Wiederholung der beschriebenen einfachen Versuche, dafs zwischen dem elektrisierten und dem beweglichen Körper, nachdem beide miteinander in Berührung gewesen sind und sich also beide in elektrischem Zustande befinden, eine wechselseitige Abstofsung auftritt.

Diese Abstofsung zwischen zwei elektrisierten Körpern findet eine unmittelbare Anwendung in dem Goldblattelektroskop (Fig. 2 a. v. S.). Dasselbe besteht aus einem kleinen Metallstab, der an seinem unteren Ende zwei Streifen Blattgold trägt und in ein mit Glasplatten verschlossenes Gehäuse hineinragt, welches den doppelten Zweck eines Stativs und eines Schutzes gegen die Luftströmungen erfüllt. Man braucht nur den Metallstab mit einem Tuche zu reiben, so wird er und werden mit demselben die Goldblättchen elektrisch; die letzteren streben infolge ihrer wechselseitigen Abstofsung sich voneinander zu entfernen und nehmen entgegengesetzt schräge Richtungen an.

Ein anderer wichtiger Abschnitt in der Entwickelung der elektrischen Wissenschaft knüpft sich an eine Entdeckung von Du Fay, welcher zeigte, dafs zwei Körper, die sich beide in elektrischem Zustande befinden, einander ebensowohl anziehen wie abstofsen können, oder mit anderen Worten, dafs ein gegebener elektrisierter Körper von einem anderen, der sich gleich ihm in elektrischem Zustande befindet, ebensowohl eine Anziehung wie eine Abstofsung erfahren kann. Man berühre z. B. das Pendel mit einer Harzstange, die man mit Wolle gerieben hatte, und konstatiere, dafs dasselbe abgestofsen wird, dafs also der elektrische Zustand des Harzes auf dasselbe übergegangen ist; darauf nähere man demselben eine Glasstange, die man auf die gleiche Weise gerieben hatte, so wird man beobachten, dafs dieser Körper das Pendel anzieht, anstatt es abzustofsen. Der elektrische Zustand

des Glases ist also mit demjenigen des Harzes nicht identisch, vielmehr besteht zwischen den beiden ein gewisser Gegensatz, der durch die folgende Betrachtung besser hervortritt.

Wir wollen annehmen, wir berührten mit dem geriebenen Glase das Pendel, welches vorher bereits mit dem Harze in Berührung gewesen war, oder, mit anderen Worten, wir berührten irgend einen isolierten Leiter nacheinander mit jenen beiden elektrisierten Körpern. Dann läfst sich leicht feststellen, dafs der elektrische Zustand des Leiters in gewissem Sinne eine Stufe zwischen den Zuständen bildet, die in demselben entstehen würden, falls man denselben nur mit dem einen oder nur mit dem anderen der beiden elektrisierten Körper berühren würde. Es kann sogar der Fall eintreten, dafs nach den beiden Berührungen der Leiter sich im natürlichen, d. h. nicht elektrischen Zustande befindet, oder mit anderen Worten, es ist möglich, dafs die zweite Berührung den elektrischen Zustand, den der Körper durch die erste Berührung erlangt hatte, einfach aufhebt.

Es scheint daher, als ob die beiden elektrischen Zustände sich zueinander in derselben Weise addierten, wie man in der Algebra Gröfsen von entgegengesetztem Vorzeichen addiert. Danach ergibt es sich als zweckmäfsig, den einen der elektrischen Zustände (und zwar hat man hierfür denjenigen gewählt, den unter gewöhnlichen Bedingungen das Glas beim Reiben mit Wolle annimmt) als positiven, den anderen als negativen Zustand zu bezeichnen.

2. Coulombsches Gesetz.

Einen Fortschritt von allergröfster Wichtigkeit verdankt die elektrische Wissenschaft dem französischen Physiker Coulomb, dem es durch mühevolle Versuche gelang, die elektrischen Kräfte zu messen und ihre Gesetze festzustellen. Schon die einfachsten Experimente hatten gezeigt, dafs die zwischen zwei elektrisierten Körpern bestehende Kraft abnimmt, wenn die Entfernung zwischen beiden vergröfsert wird; um aber auf das Studium der elektrischen Erscheinungen die Hilfsmittel der Mathematik anwenden zu können, reichte das Gesagte noch nicht hin; man mufste wissen, nach welchem Gesetze sich jene Kraft mit der Entfernung ändert. Coulomb fand nun, dafs das wohlbekannte Gesetz, welches Newtons Genie bezüglich der Schwerkraft aufgestellt hatte, auch hier Geltung hat: die Richtung der Kraft ist

diejenige der Geraden, welche die beiden (als klein vorausgesetzten) Körper miteinander verbindet, und ihre Gröfse ändert sich im umgekehrten Verhältnis des Quadrates der Entfernung zwischen den Körpern. Mithin sinkt, wenn die Entfernung zwischen zwei elektrisierten Körpern verdoppelt, verdreifacht wird u. s. w., die zwischen ihnen sich äufsernde Kraft auf den vierten ($4 = 2 \times 2$ oder gleich dem Quadrat von 2), den neunten ($9 = 3 \times 3$ oder gleich dem Quadrat von 3) Teil u. s. w. Ferner ist diese Kraft eine anziehende oder abstofsende, d. h. sie strebt die beiden Körper einander zu nähern, oder sie voneinander zu entfernen, je nachdem ihre elektrischen Zustände, wie wir dies aus den erwähnten Versuchen von Du Fay erfahren haben, von entgegengesetztem oder von dem gleichen Vorzeichen sind.

Die Kenntnis des Coulombschen Gesetzes gestattete ferner der Wissenschaft die Einführung des Mafsbegriffes für die elektrischen Zustände der Körper oder, wie man zu sagen pflegt, des Begriffes der Elektrizitätsmenge. Dieser Begriff ist keineswegs, wie es auf den ersten Blick scheinen könnte, an irgend eine spezielle Auffassung bezüglich der inneren Natur der elektrischen Erscheinungen geknüpft. Man ist einfach dahin übereingekommen, zu sagen, dafs ein Körper A, der einen bestimmten und unveränderlichen elektrisierten Körper B, während die gegenseitige Lage beider Körper unverändert bleibt, einmal mit einer gewissen Kraft, ein zweites Mal mit der doppelten Kraft anzieht oder abstöfst, im zweiten Falle die doppelte Elektrizitätsmenge besitzt wie im ersten.

Haben wir einmal diese Definition des Begriffes Elektrizitätsmenge akzeptiert, so können wir sagen, dafs die von zwei elektrisierten Körpern aufeinander ausgeübte Kraft den Elektrizitätsmengen der beiden Körper direkt und dem Quadrate ihrer Entfernung umgekehrt proportional ist. Dieser Satz bleibt, welches immer die elektrischen Zustände der beiden Körper sein mögen, auch dann noch richtig, wenn wir für die beiden Arten des elektrischen Zustandes ihre algebraischen Vorzeichen gebrauchen, nur ist in diesem Falle die bekannte Multiplikationsregel zu berücksichtigen. Wir werden somit sagen, dafs zwei Elektrizitätsmengen von entgegengesetzter Art dem absoluten Betrage nach gleich sind, falls sie, einem und demselben Leiter mitgeteilt, denselben in neutralem Zustande lassen. Dem absoluten Betrage nach gleiche Ladungen von verschiedenem Vorzeichen bezeichnet man auch als

gleichwertig; auf einen in gleicher Entfernung von ihnen befindlichen elektrisierten Körper üben dieselben gleiche und entgegengesetzt gerichtete Kräfte aus. Diesen Fall haben wir in den Ladungen von entgegengesetztem Vorzeichen, welche zwei aneinander geriebene Körper annehmen, denn auch der reibende Körper bekommt eine elektrische Ladung und zwar eine solche von entgegengesetztem Vorzeichen wie der geriebene Körper.

Häufig findet man anstatt des Wortes Elektrizitätsmenge auch die Worte elektrische Masse oder elektrische Ladung gebraucht, doch soll damit keinerlei Voraussetzung bezüglich der Natur der elektrischen Vorgänge verbunden sein.

Völlige Freiheit haben wir ferner bezüglich der Wahl irgend einer Maſseinheit, mit deren Hilfe wir die Ladungen der elektrisierten Körper zahlenmäſsig ausdrücken können. Unter den verschiedenen zu diesem Zwecke vorgeschlagenen Einheiten hat die in der Praxis gebräuchliche den Namen Coulomb erhalten.

Nachdem einmal der elektrische Zustand in den Körpern hervorgebracht ist, so erhält derselbe sich auf eine gewisse, aber keineswegs auf unbestimmte Zeit. Es findet vielmehr ein mehr oder minder langsames Verschwinden der elektrischen Ladungen statt, welches man als Zerstreuung bezeichnet, und die Körper kehren schlieſslich in den natürlichen oder neutralen Zustand zurück. Aber diese Zerstreuung, so wenig man sie auch vollständig zu verhindern vermag, bildet einen Vorgang für sich, den man durch geeignete Mittel auſserordentlich herabsetzen kann. Und das Studium der Erscheinungen wird wesentlich vereinfacht, wenn man von der Zerstreuung absieht, oder mit anderen Worten, wenn man den einmal hervorgebrachten elektrischen Zustand als unveränderlich ansieht. Das wirkliche Verhalten unterscheidet sich bei Versuchen von nicht allzu langer Dauer nur wenig von dem idealen Falle, in welchem gar keine Zerstreuung stattfindet; und die Schlüsse, die man unter Vernachlässigung der Zerstreuung ziehen kann, bleiben jedenfalls von groſsem Nutzen.

Fürs erste werden wir somit den elektrischen Zustand der Körper als unveränderlich ansehen und es wird also, wenn die Körper auſserdem noch unbeweglich sind, mit der Zeit keinerlei Änderung eintreten. Auf Grund dieser Voraussetzung besteht somit auſser dem mechanischen auch das elektrische Gleichgewicht; die Kräfte, welche auftreten, bleiben unverändert und das elektrische Feld — das heiſst der gesamte Raum, welcher die elektri-

sierten Körper umgibt und in welchem sich die elektrischen Erscheinungen abspielen — ist gleichfalls konstant. Um von den mit diesem unveränderlichen Zustande verknüpften Erscheinungen, welche man als elektrostatische Erscheinungen bezeichnet, Rechenschaft zu geben, pflegt man die elektrische Kraft an irgend einer Stelle des Feldes zu betrachten; man bezeichnet damit diejenige Kraft, welche an der betreffenden Stelle wirksam sein würde, falls daselbst eine Einheit positiver Elektrizität vorhanden, sonst aber in dem elektrischen Felde nichts weiter geändert wäre. Im allgemeinen wird diese Kraft beim Übergang von einer Stelle des elektrischen Feldes zu einer anderen der Gröfse und Richtung nach variieren.

3. Verteilung der Elektrizität auf den Leitern.

Da bei den Leitern der elektrische Zustand nicht auf die Stelle beschränkt bleibt, an welcher er erzeugt wurde, so entsteht naturgemäfs die Frage, ob derselbe an den verschiedenen Stellen des Leiters mit verschiedener Intensität auftritt. Auf Grundlage des Coulombschen Gesetzes angestellte Berechnungen haben nun bezüglich der Verteilung des elektrischen Zustandes, oder wie man auch zu sagen pflegt, der elektrischen Ladung in den Leitern bestimmte Regeln ergeben, die durch den Versuch vollkommen bestätigt wurden.

So wurde vor allem festgestellt, dafs die elektrische Ladung eines Leiters auf die Aufsenfläche desselben beschränkt ist; weder auf etwaigen Innenflächen, falls der Körper Höhlungen hat, noch auch innerhalb dieser Höhlungen oder in der Masse des Leiters ist jemals eine Spur von Elektrizität wahrzunehmen. Man drückt dies in der Weise aus, dafs man sagt, die Elektrizität sammle sich auf der Aufsenfläche des Leiters an.

Was ferner die Stärke anbelangt, mit welcher der elektrische Zustand sich an den verschiedenen Stellen der Oberfläche des Leiters kundgibt, so lassen sich die diesbezüglichen Ergebnisse nur in einigen speziellen Fällen auf einfache Weise ausdrücken. Es ist zweckmäfsig, hierfür den von Coulomb eingeführten Begriff der elektrischen Dichte zu gebrauchen; man bezeichnet damit das Verhältnis zwischen der auf einem sehr kleinen Teile der Oberfläche des Leiters vorhandenen Elektrizitätsmenge und der Gröfse dieser Oberfläche; oder man kann auch sagen, die Dichte

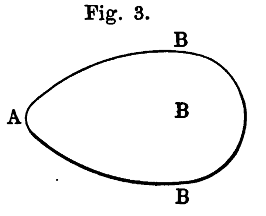
sei die an der betrachteten Stelle der Oberfläche pro Flächeneinheit vorhandene Ladung.

Der einfachste Fall, der sich hier darbieten kann, ist derjenige eines durch eine Kugelfläche begrenzten Leiters. In diesem Falle ist kein Grund vorhanden, weshalb ein Teil der Oberfläche des Leiters eine stärkere oder schwächere Ladung besitzen sollte als irgend ein anderer gleich grofser Teil. Bei einer Kugel ist also die Dichte auf der ganzen Oberfläche die gleiche.

Bei Leitern von anderer Gestalt dagegen ist dies im allgemeinen nicht mehr der Fall, bei diesen ändert sich also die elektrische Dichte von einer Stelle der Oberfläche des Leiters zur anderen und nur in wenigen Fällen läfst sich die Verteilung der elektrischen Ladung durch ein verhältnismäfsig einfaches Gesetz ausdrücken.

Begnügen wir uns aber damit, anstatt des quantitativen Betrages der elektrischen Ladung das Mehr oder Weniger derselben zu kennen, so dürfen wir als Regel gelten lassen, dafs die elektrische Dichte um so gröfser ist, je stärker die Krümmung der Oberfläche an der betrachteten Stelle. Oder mit anderen Worten: Je mehr die Oberfläche des Leiters sich der Gestalt einer Ebene nähert, oder mehr noch, je stärker sie nach innen gekrümmt ist, desto geringer ist an der betreffenden Stelle die elektrische Dichte; in je stärkerem Mafse die Oberfläche konvex ist oder nach aufsen hervortritt, desto gröfser ist die elektrische Dichte. So ist z. B. auf dem eiförmigen Leiter der Fig. 3 die Dichte am gröfsten an der Stelle A, wo auch die Krümmung ein Maximum beträgt, am kleinsten dagegen an den mit BB bezeichneten Stellen, an denen auch die Krümmung am wenigsten ausgeprägt ist.

Fig. 3.



In dem extremen Falle, dafs der Leiter scharfe Spitzen oder Kanten hat, also Stellen mit unendlich grofser Krümmung, wird auch die elektrische Dichte an den betreffenden Stellen unendlich grofs. Nur ist dabei zweierlei zu beachten; einmal sind selbst anscheinend überaus scharfe Spitzen in Wirklichkeit gar keine solchen und dann geht die Zerstreuung der Ladungen um so rapider vor sich, je gröfser die elektrische Dichte ist; diese Zerstreuung, durch welche die elektrische Ladung den Leiter verläfst und in die Luft und schliefslich auf die umgebenden Leiter übergeht gestattet also nicht, dafs ein mit ausgeprägten Kanten oder scharfen

Spitzen versehener Leiter über einen gewissen Grenzbetrag der elektrischen Dichte hinaus geladen wird.

Die geschilderte Eigenschaft der Spitzen benutzt man bekanntermaſsen bei den Blitzableitern, insofern dieselben eine vorbeugende Wirkung ausüben, sowie bei der Konstruktion der Elektrisiermaschinen. Wenn aber die Spitzen auf solche Weise wirken, so sind die Vorgänge nicht mehr elektrostatischer Natur und es ist daher hier nicht der Ort, dieselben zu beschreiben.

4. Das elektrische Potential.

Bei der mathematischen Behandlung der elektrostatischen Erscheinungen stellte es sich als zweckmäſsig heraus, den Begriff des elektrischen Potentials einzuführen, welcher nicht allein die Rechnungen selbst, sondern auch die Zusammenfassung ihrer Ergebnisse in hohem Maſse erleichtert. Nach und nach fand das Potential auch bei den Experimentatoren Eingang; und der Vorteil für dieselben war ein auſserordentlicher. In der Tat konnte es ja nicht anders sein, denn das Potential spielt bei den elektrischen Erscheinungen durchaus dieselbe Rolle wie die Temperatur bei denjenigen der Wärme. Wollte man also ohne den Begriff des Potentials auskommen, so würde man damit die Darstellung und das Studium der elektrischen Erscheinungen ebenso schwierig und mangelhaft gestalten, wie wenn man es beim Studium oder der Beschreibung der Wärmevorgänge vermeiden wollte, von Temperatur zu sprechen. Die Notwendigkeit der Einführung des Potentialbegriffes machte sich denn auch so sehr geltend, daſs einige Elektriker zu Anfang des vorigen Jahrhunderts, und unter diesen insbesondere Volta, mit wunderbarem Scharfblick den Ausdruck absolute Spannung genau in derselben Bedeutung gebrauchten, welche heute für uns das Potential hat.

Um klarzumachen, was das elektrische Potential ist, können wir von dem Begriff der mechanischen Arbeit und dem groſsen Prinzip der Erhaltung der Energie ausgehen. Dieses Prinzip, welches für die Wissenschaft von nicht geringerer Wichtigkeit ist als dasjenige der Erhaltung der Materie, das Lavoisier mit Hilfe der Wage festgestellt hat, ist gleichfalls, und zwar auf so verschiedenartige und vollkommene Weise durch die Erfahrung bestätigt worden, daſs an seiner absoluten Geltung kein Zweifel besteht. Die folgenden Betrachtungen mögen dasselbe hinreichend klarstellen.

Wenn eine Kraft einem Körper, auf den sie einwirkt, eine Bewegung erteilt, so hängt die Wirkung dieser letzteren im allgemeinen nicht allein von der Intensität der Kraft ab, sondern zugleich von der Verschiebung, welche die Kraft dem Körper längs ihrer eigenen Richtung erteilt hat; man mifst sogar jene Wirkung zweckmäfsig in der Weise, dafs man die Gröfse der Kraft und die durch sie hervorgebrachte Verschiebung miteinander multipliziert. Dieses Produkt hat den Namen Arbeit erhalten und die Arbeit gilt als verbraucht oder erzeugt, je nachdem die Bewegung des Körpers im entgegengesetzten oder im gleichen Sinne vor sich geht, wie diejenige Bewegung, welche die Kraft selbst hervorzubringen strebt.

Die Wahl des Ausdruckes „Arbeit“ für das Produkt aus der Gröfse einer Kraft und dem von ihrem Angriffspunkte in ihrer Richtung zurückgelegten Wege pflegt man mit Hilfe des folgenden Beispieles zu rechtfertigen.

Wir wollen annehmen, es wäre auf die verschiedenen Stockwerke eines Gebäudes, die alle die gleiche Höhe haben mögen, eine Anzahl Bausteine zu befördern. Jeder intelligente Arbeiter wird, wenn er die Steine auf ein bestimmtes Stockwerk des Baues zu tragen hat, auch ohne irgend welche wissenschaftliche Bildung nicht im Zweifel darüber sein, dafs der Lohn, den er zu beanspruchen hat, nicht allein zur Zahl der Steine, sondern auch zur Höhe, auf welche dieselben transportiert werden sollen, im Verhältnis stehen mufs, und so wird er z. B., wenn er dieselben auf den zweiten Stock anstatt auf den ersten zu tragen hat, den doppelten Lohn dafür verlangen. Und in der Tat steht ja die Mühe oder Arbeit, die der Arbeiter zu leisten hat, im Verhältnis nicht allein zur Zahl der Steine oder zu ihrem Gesamtgewicht, sondern auch zur Höhe, auf welche dieselben getragen werden sollen. Offenbar ist also die Arbeit, welche verrichtet werden soll, proportional dem Produkt, welches man erhält, wenn man das zu hebende Gewicht mit der Höhe multipliziert, auf welche dasselbe gehoben werden soll, oder mit anderen Worten proportional dem Produkt aus der Kraft (in diesem Falle dem Gewicht), welche auf den zu bewegenden Körper einwirkt, und der Strecke, welche der Körper in der Richtung der Kraft (in diesem Falle der Vertikalen) zurückzulegen hat. In dem hier gewählten Beispiel ist die Arbeit, welche von der Kraft der Erdanziehung geleistet wird, gleich derjenigen der Muskelkraft, welche jener das Gleichgewicht hält; und

diese Arbeit leistet oder verbraucht der Arbeiter. In Wirklichkeit mag das Gewicht anstatt in genau vertikaler Richtung ebensogut längs irgend einer anderen Linie transportiert werden; an dem Ergebnis wird hierdurch, da die Bewegung eines Körpers senkrecht zur Richtung der auf ihn wirkenden Kraft offenbar keinen Verbrauch von Arbeit beansprucht, nichts geändert. Es ist darum durchaus passend, dafs wir das Wort „Arbeit“ gebrauchen, um das Produkt aus der Kraft und dem in ihrer Richtung zurückgelegten Wege, d. h. der Projektion des tatsächlich zurückgelegten Weges auf die Richtung der Kraft zu bezeichnen.

In jeder Maschine gibt es im allgemeinen eine Kraft (bewegende oder Triebkraft), welche den Nutzeffekt, für den die Maschine bestimmt ist, zu erzeugen strebt, sowie andere Kräfte (Widerstände), welche jener entgegenwirken. Die Widerstände sind aktiver Natur (dahin gehört z. B. das zu hebende Gewicht) oder sie sind passiv, wie die Reibung, der Luftwiderstand u. s. w. Die Arbeit der Triebkraft ist gleich derjenigen der Widerstände und damit ist die Verwirklichung des so lange Zeit vergeblich gesuchten Perpetuum mobile zur Unmöglichkeit gemacht.

Nachdem wir nunmehr festgestellt haben, was unter der Arbeit einer Kraft zu verstehen ist, können wir zur Definition des Begriffes der Energie übergehen. Man sagt, dafs ein Körper Energie besitzt, wenn er mechanische Arbeit zu leisten vermag; die Gröfse dieser letzteren dient als Mafs für den Betrag der Energie, und diese läfst sich mithin definieren als die Fähigkeit oder Möglichkeit, Arbeit zu leisten.

Ein Körper, der sich bewegt, besitzt Energie. In der Tat erhebt er sich, wenn wir ihm z. B. einen von unten nach oben gerichteten Impuls erteilen, mit gleichförmig verzögerter Bewegung, bis seine Geschwindigkeit gleich Null geworden ist; und wenn man ihn in diesem Augenblicke festhält, so ist die Energie, die er ursprünglich besessen hatte, nicht mehr in ihm vorhanden; sie hat die Arbeit, deren sie fähig war und die durch das Produkt aus dem Gewicht des Körpers und der erreichten Höhe gemessen wird, bereits vollbracht. Aus den Bewegungsgesetzen der Körper ergibt sich sodann, dafs dieses Produkt gleich der lebendigen Kraft ist, welche der Körper bei Beginn seiner Bewegung besessen hatte, oder mit anderen Worten gleich der Hälfte des Produktes aus der Masse des Körpers und dem Quadrat seiner Geschwindigkeit. Somit kann man sagen, dafs die Energie, welche ein Körper

vermöge seiner Bewegung besitzt und welche man als kinetische Energie bezeichnet, durch die lebendige Kraft des Körpers gemessen wird.

Bei oberflächlicher Betrachtung kann es scheinen, als ob die kinetische Energie des Körpers bei seiner Aufwärtsbewegung allmählich zerstört worden sei; in Wirklichkeit jedoch ist dies keineswegs der Fall. Allerdings besitzt der Körper, wenn man ihn am höchsten Punkte seiner Bahn festhält, keine kinetische Energie mehr; aber er befindet sich jetzt an einer höheren Stelle und kann uns dadurch, sobald wir es wünschen, die verlorene kinetische Energie zurückerstatten. Wir brauchen ihn nur wieder bis zu seiner Ausgangsstelle herabfallen zu lassen, so hat er die kinetische Energie, die anfangs in ihm vorhanden gewesen war, wieder erlangt. Es folgt dies aus dem bekannten Bewegungsgesetze, wonach ein Körper, nachdem er in die Höhe geschleudert worden ist und wieder herabfällt, bei der Rückkehr zu seiner Ausgangsstelle eine nach abwärts gerichtete Geschwindigkeit besitzt, die, falls wir von dem durch den Luftwiderstand verursachten Verluste an Geschwindigkeit absehen, gleich der nach aufwärts gerichteten ist, mit welcher er seine Bewegung begonnen hatte. Ein Körper, welcher der Wirkung einer Kraft — in unserem Falle der Schwerkraft — unterworfen ist, besitzt also schon hierdurch allein eine gewissermafsen latente oder verborgene Energie, die potentielle Energie oder Energie der Lage genannt wird. Während der Bewegung des Körpers findet in dem von uns gewählten Beispiel eine beständige Umwandlung von kinetischer Energie in Energie der Lage oder von dieser in jene statt, aber die Summe beider bleibt konstant. Diese Konstanz drückt für den einfachsten Spezialfall der Vertikalbewegung schwerer Körper das Prinzip der Erhaltung der Energie aus.

In der Mechanik wird bewiesen, dafs dieses Prinzip von sehr allgemeiner Geltung ist und dafs dasselbe sich nicht allein für die Schwerkraft, sondern ebenso für alle anderen Zentralkräfte bestätigt, d. h. für alle Kräfte, welche wechselseitig zwischen zwei Körpern in Richtung der dieselben verbindenden Geraden wirken und deren Intensität nur durch die Entfernung zwischen den Körpern bedingt ist. Wäre der Nachweis möglich, dafs es in der Natur überhaupt nur Zentralkräfte, wie die Schwerkraft, die elektrischen, magnetischen, elastischen Kräfte u. s. w., geben kann, so wäre damit das Prinzip der Erhaltung der Energie ohne weiteres

für alle Fälle, d. h. für alle Formen, in denen die Energie uns entgegentreten kann, ebenfalls bewiesen; aber jener Nachweis ist nicht zu erbringen. Da indessen nicht allein das Prinzip selbst aufs strengste erfüllt ist, sondern auch die aus demselben sich ergebenden Schlufsfolgerungen in allen Fällen durchaus von den Tatsachen bestätigt wurden, so gewinnt das Prinzip der Erhaltung der Energie den Charakter und Nutzen eines grundlegenden wissenschaftlichen Prinzips.

Wir sagten, die Energie könne uns unter verschiedenen Formen entgegentreten. In der Tat gibt es aufser den mechanischen Energien (kinetische Energie und Energie der Lage) noch andere physikalische Energieformen. Ein warmer Körper besitzt Energie, welche sich mit Hilfe einer der zahlreichen thermischen Maschinen in Arbeit umsetzen läfst. Man nimmt sogar an, dafs die kinetische Energie der letzten Teilchen (Moleküle oder Atome), aus welchen sämtliche Körper sich aufbauen, eben das ist, was wir Wärme nennen. Die Existenz eines konstanten dynamischen Äquivalents der Wärme ist ein Beweis zu Gunsten der Allgemeingültigkeit des Prinzips.

Setzen wir in dem zuvor betrachteten Falle eines Körpers, welcher der Schwerkraft unterworfen ist, an Stelle dieser letzteren die chemische Affinität, so haben wir den Fall der chemischen Energie. So bilden z. B. die Atome des Wasserstoffs und des Sauerstoffs, wenn die beiden Gase miteinander in Berührung sind, ein System, dem ein gewisser Betrag von Energie der Lage innewohnt. Bringt man es dahin, dafs die Atome des einen Gases gegen diejenigen des anderen fallen, d. h. dafs die beiden Gase sich miteinander unter Bildung von Wasser verbinden, so geht die Energie der Lage in kinetische Energie der Moleküle, mit anderen Worten in Wärme über.

Ebenso gibt es eine elektrische Energie, eine magnetische Energie, eine Energie des Lichtes u. s. w. Diese Energien können sich ineinander verwandeln, ohne dafs jemals eine Vernichtung oder eine Schöpfung von Energie stattfindet; und es ist interessant, die verschiedenen Formen ausfindig zu machen, welche eine bestimmte Energie nacheinander durchlaufen mufste, bevor sie die besondere Form annahm, unter welcher sie uns jetzt entgegentritt. Unterwirft man die auf unserem Erdball vorhandenen Energieen einer derartigen Untersuchung, so erkennt man, dafs dieselben mit ganz geringen Ausnahmen von Umwandlungen der Sonnen-

wärme herstammen, d. h. also von der Energie, welche die Sonne in Gestalt von Wärme- und Lichtwellen beständig nach allen Richtungen ausstrahlt. Sogar die Energie der Muskeln, welche meine Hand beim Niederschreiben dieser Worte bewegen, stammt aus der Sonne; und den gleichen Ursprung hat die Energie des Wasserfalles, dessen Tosen an mein Ohr dringt, die Energie des Windes, welcher die Blätter der Bäume erzittern läſst und die Energie des Holzes und der Steinkohlen, die wir in unseren Öfen verbrennen.

Da die elektrischen Kräfte dem Coulombschen Gesetze gehorchen, so sind sie Zentralkräfte und auch für sie gilt deshalb unzweifelhaft das Prinzip der Erhaltung der Energie.

Wir wollen uns nunmehr einen Körper von sehr kleinen Dimensionen denken, der mit einer Einheit positiver Elektrizität geladen sei, und wir wollen denselben in einem elektrischen Felde von einem gegebenen Punkte aus, der mit M bezeichnet werde, bis in unendliche Entfernung fortbewegt denken. Bei dieser Bewegung leistet die elektrische Kraft eine gewisse mechanische Arbeit und diese Arbeit bezeichnet man als das elektrische Potential im Punkte M. Dasselbe ist gemäſs dem Prinzip der Erhaltung der Energie unabhängig von dem speziellen Wege, den wir den elektrisierten kleinen Körper zurücklegen lassen; denn wenn jene Arbeit verschieden ausfiele, je nachdem der Körper einen Weg oder einen anderen zurücklegt, so könnte man etwa die Einheit der Elektrizitätsmenge auf dem einen Wege hin- und auf dem anderen zurücktransportieren. Man würde dann, obschon schlieſslich wieder alles an der ursprünglichen Stelle angelangt ist, Arbeit gewonnen oder verloren haben, und man hätte auf diese Weise einen gewissen Betrag an Energie geschaffen oder vernichtet.

Aus unserer Definition des Potentials ergibt sich sofort, daſs die Arbeit, welche bei der Überführung der Elektrizitätseinheit von einer Stelle an eine andere durch die elektrische Kraft geleistet wird, gleich dem Unterschiede zwischen den Werten des Potentials an jenen beiden Stellen ist.

In sämtlichen Punkten eines Leiters oder eines Systems miteinander verbundener Leiter ist der Betrag des Potentials der gleiche. Denken wir uns nämlich eine Elektrizitätseinheit von einem Punkte des Leitersystems an einen anderen auf einem Wege übergeführt, der vollständig innerhalb der Leiter oder der sie ver-

bindenden Drähte liegt, so ist hierzu, da zwischen den längs der Bahn gelegenen Punkten keine elektrische Kraft besteht, auch keine Arbeit erforderlich. Die Potentialdifferenz zwischen jenen beiden Punkten ist demnach gleich Null. Der konstante Wert des Potentials in den verschiedenen Punkten eines Leiters heifst das Potential des Leiters. Die für die Praxis adoptierte Einheit des Potentials hat den Namen Volt erhalten.

Aus dem Gesagten ist ersichtlich, dafs das Potential mit Bezug auf die elektrostatischen Erscheinungen eine ähnliche Rolle spielt wie die Temperatur mit Bezug auf die Erscheinungen der Wärme. Wie bei diesen letzteren Gleichheit der Temperatur Bedingung des Wärmegleichgewichtes ist, so hat auch das elektrische Gleichgewicht in einem Leiter oder einem System miteinander in Verbindung stehender Leiter die Gleichheit des Potentials in denselben zur Bedingung.

Noch andere Analogien lassen sich heranziehen, um den Begriff des Potentials zu erläutern. So läfst sich dasselbe mit dem Druck der Gase vergleichen, insofern das Gleichgewicht in diesem Falle gerade an die Bedingung der Gleichheit des Druckes geknüpft ist.

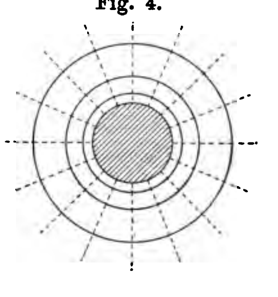
Mathematisch läfst sich das Potential in einem Punkte auch auf andere Weise definieren, nämlich als die Summe einer Anzahl von Brüchen, als deren Zähler die einzelnen elektrischen Ladungen auftreten, während der Abstand einer jeden Ladung von dem betrachteten Punkte den jeweiligen Nenner bildet. Aus dieser Definition folgt, dafs die Verdoppelung, Verdreifachung u. s. w. der Ladungen auch zur Verdoppelung, Verdreifachung u. s. w. des Potentials führt. Hat man es also nur mit einem einzigen elektrisierten Leiter zu tun, so ist sein Potential proportional seiner Ladung. Das konstante Verhältnis zwischen dieser und dem Potential heifst die Kapazität des Leiters.

Aufserhalb der Leiter hat das Potential im allgemeinen von Punkt zu Punkt verschiedene Werte. Man kann sich aber alle diejenigen Punkte des Raumes vorstellen, an welchen das Potential einen und denselben Wert besitzt; diese Punkte werden im allgemeinen eine Fläche bilden, welche man als Niveaufläche bezeichnet. Eine solche Niveaufläche ist z. B. die Oberfläche eines Leiters. Die Komponente der elektrischen Kraft in irgend einem Punkte, welche die Richtung einer Tangente der durch diesen Punkt gehenden Niveaufläche hat, ist notwendigerweise gleich

Null, weil die Arbeit, welche die elektrische Kraft bei einer Verschiebung längs jener Fläche zu leisten hat, ebenfalls gleich Null ist. In einem beliebigen Punkte einer Niveaufläche ist darum die Kraft normal zur Fläche gerichtet, und normal zu den Niveauflächen sind demnach die Kraftlinien, das sind Linien, die man sich im Raume denken kann und die dadurch charakterisiert sind, daſs die elektrische Kraft an irgend einer Stelle des Raumes die Tangente zu der durch diese Stelle gehenden Kraftlinie bildet.

Das einfachste Beispiel, das sich mit Bezug auf die Niveauflächen und Kraftlinien darbietet, ist dasjenige einer elektrisierten Kugel (Fig. 4), denn in diesem Falle läſst sich aus Symmetriegründen ohne weiteres einsehen, daſs die Niveauflächen zum Leiter konzentrische Kugeln sind und die Kraftlinien die unbegrenzt verlängert gedachten Radien des Leiters.

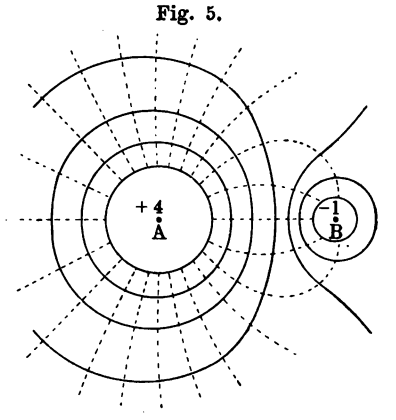
Fig. 4.



Können wir uns die Niveauflächen und die Kraftlinien eines elektrischen Feldes vorstellen, so ist damit das Studium dieses letzteren ungemein erleichtert, zumal wenn man bezüglich der Aufeinanderfolge derselben eine geeignete Regel einführt.

Man denke sich zu diesem Zwecke die Oberfläche des Leiters in eine Anzahl aneinandergrenzender Flächenteile zerlegt, von welchen jedes genau so groſs ist, daſs es eine Einheit der Elektrizitätsmenge enthält und man denke sich vom Umfange aller dieser Flächenstücke die Kraftlinien ausgehend. Auf diese Weise werden Kraftröhren, und zwar Einheitskraftröhren, gebildet. Ebenso denke man sich für sämtliche Potentialwerte, die stufenweise um je eine Einheit voneinander verschieden sind, die Niveauflächen konstruiert. Das gesamte Feld wird auf diese Weise in Abteilungen oder Zellen zerlegt, deren Gestalt und Gröſse über die Verteilung der elektrischen Kraft innerhalb des Feldes die umfassendste Auskunft gibt. In Fig. 4, die den Fall einer elektrisierten Kugel zur Darstellung bringt, sind

Fig. 5.

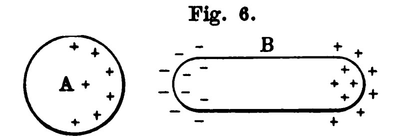


die Durchschnitte der Bildebene mit den Niveauflächen durch zusammenhängende, die Kraftlinien durch unterbrochene Linien wiedergegeben; ebenso in Fig. 5 (a. v. S.), welche das Feld zweier kleiner elektrisierter Körper repräsentiert, von denen der eine, A, vier Einheiten positiver, der andere, B, eine Einheit negativer Elektrizität enthält.

5. Die elektrische Influenz.

Theorie und Erfahrung zeigen übereinstimmend, dafs es nicht nötig ist, einen Körper zu reiben oder mit einem geeigneten Körper, den man gerieben hatte, in Berührung zu bringen, damit er sich als elektrisiert zu erkennen gebe; es genügt dazu schon, dafs er sich in dem elektrischen Felde eines irgendwie geladenen Körpers befindet. Diese Art, den elektrischen Zustand hervorzurufen, heifst Elektrisierung durch Influenz; der elektrisierte Körper, welcher das elektrische Feld erzeugt, heifst der influenzierende, der andere, welchen man in dieses Feld einführt, heifst der influenzierte Körper. Ist A (Fig. 6) der influenzierende Körper und positiv geladen, so wird der influenzierte Leiter B, der eine längliche Gestalt haben möge, in denjenigen Teilen, welche A am nächsten sind, negativ und in den von A entfernten Teilen positiv elektrisiert erscheinen, wie dies in der Abbildung durch die beigesetzten algebraischen Zeichen angedeutet ist.

Fig. 6.



Das Vorhandensein dieser beiden entgegengesetzten Ladungen läfst sich vermittelst eines Elektroskops oder auch mit Hilfe der sogenannten elektroskopischen Pulver nachweisen. Man benutzt hierzu gewöhnlich ein sehr fein gepulvertes Gemisch von Schwefel und Mennige, welches man aus einer gewissen Entfernung mit Hilfe eines Blasebalgs gegen den elektrisierten Körper bläst. Stellt man diesen Versuch mit den in Fig. 6 abgebildeten Leitern an, so erscheinen A und die von ihm am weitesten entfernten Teile von B mit Schwefel bedeckt, während die zu A benachbarten Teile von B einen Überzug von Mennige angenommen haben.

Dieses Ergebnis rührt davon her, dafs die Teilchen der beiden Pulver durch Reibung aneinander oder an dem engen Netz, welches sie beim Verlassen des Blasebalgs zu passieren haben, elektrisch werden; und zwar nimmt das Mennigepulver eine positive Ladung

an und wird infolgedessen von negativ elektrisierten Körpern angezogen, während der Schwefel negativ wird und deshalb der Anziehung seitens positiv geladener Körper unterliegt.

Jede der beiden durch Influenz in einem Leiter erzeugten Ladungen ist im allgemeinen von geringerem Betrage als die auf dem influenzierenden Körper vorhandene; sie wird jedoch gleich dieser letzteren, wenn der influenzierte Leiter den elektrisierten Körper von allen Seiten umgiebt, oder mit anderen Worten, wenn dieser letztere sich innerhalb eines hohlen Leiters befindet. Auch wenn der elektrisierte Körper und der Leiter einander aufserordentlich nahe Flächen darbieten, erreicht die durch Influenz erzeugte Ladung nahezu den Betrag der influenzierenden.

Ein überaus wichtiges Resultat erhält man, wenn der influenzierte Leiter, mit dem man den Versuch anstellt, aus zwei einander berührenden oder durch einen Draht miteinander verbundenen Teilen besteht. In demjenigen Teile, welcher dem influenzierenden Körper am nächsten ist, herrscht dann die mit der Ladung des letzteren ungleichnamige, in den entfernteren Teilen die mit der Ladung des influenzierenden Körpers gleichnamige Elektrizität vor; und wenn man nunmehr die Verbindung zwischen den beiden Teilen unterbricht, so bewahren sie ihre Ladungen, auch falls man sie anderswohin transportiert oder den influenzierenden Körper entfernt, während ein einziger zusammenhängender Leiter bei Aufhebung des elektrischen Feldes in den natürlichen Zustand zurückkehrt.

Man kann dann die durch Influenz in den beiden Teilen des Leiters entstandenen Ladungen irgendwie verwerten und sie beliebig oft von neuem erzeugen, indem man die beiden Teile für einen Augenblick wieder miteinander in Verbindung bringt.

Es sind Mechanismen konstruiert worden, um die verschiedenen Bewegungen, deren es zur Ausführung des hier in Kürze geschilderten Versuches bedarf, rasch vornehmen zu können. Es sind dies die sogenannten Influenzmaschinen, welche mit Hilfe einer Anfangsladung, die überaus gering und von selbst entstanden sein kann, grofse Mengen von Elektrizität erzeugen. Bei einer Klasse dieser Influenzmaschinen spielt ein beweglicher isolierender Körper eine Hauptrolle. Denken wir uns, dafs in dem in Fig. 6 dargestellten Versuche das gegen *A* gewendete Ende des Leiters *B* mit einer oder mit mehreren scharfen Spitzen versehen sei und dafs ein Isolator, z. B. eine Glasscheibe, in kontinuierlicher Be-

wegung zwischen B und A hindurchgeführt werde. Die negative Ladung von B wird dann, falls die influenzierende Ladung nicht zu schwach ist, von den Spitzen aus auf das Glas übergehen und dieses kann dieselbe an einen anderen mit Spitzen versehenen

Fig. 7.



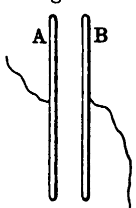
Leiter abgeben, dessen negative Ladung auf solche Weise zunimmt. Ganz auf ähnliche Art kann man es weiter dahin bringen, dafs dieser dritte Leiter durch die bewegliche Glasscheibe hindurch seine Influenz auf einen ebenfalls mit Spitzen versehenen Leiter ausübt und dadurch dem Körper A beständig frische positive

Ladungen zuschickt. Man hat dann ein System von Leitern, deren Ladungen fortwährend zunehmen. Auf diesem Prinzip beruhen gewisse Maschinen mit doppelter Influenz, von welchen die Holtzsche (Fig. 7) die gebräuchlichste ist [1]). Betreffs ihrer Beschreibung und Theorie verweisen wir den Leser auf die physikalischen Lehrbücher.

Die Erscheinung der elektrischen Influenz bietet noch eine andere hochinteressante Eigentümlichkeit dar. Ist der influenzierende Körper ein Leiter, so wächst seine Kapazität, wenn man ihn einem anderen Leiter nähert, der sich auf dem Potential Null befindet, d. h. mit der Erde in Verbindung steht.

Ein Leiter A (Fig. 8) werde z. B. durch Verbindung mit einer geeigneten Quelle (Elektrisiermaschine) auf ein bestimmtes Potential geladen. Nähert man ihm hierauf einen zweiten, nicht isolierten Leiter B, so zeigt es sich, dafs das Potential des ersteren gesunken ist; dies äufsert sich z. B. darin, dafs die Divergenz der Goldblättchen eines mit dem ersten Leiter verbundenen Elektroskops bei der Annäherung des zweiten Leiters abnimmt. Allerdings ist der Ausschlag des Elektroskopes mehr oder weniger grofs, je nachdem dessen bewegliche Teile selbst mehr oder weniger starke Ladungen besitzen; aber diese Ladungen des Elektroskops stehen im Verhältnis zum Potential des Instruments und dieses Potential ist gleich demjenigen des Leiters, der mit dem Elektroskop in Verbindung steht.

Fig. 8.



Aus der geschilderten Tatsache ergibt sich also, dafs man dem Körper A, wenn man ihn wieder auf seinen ursprünglichen Potentialwert bringen will, aus der Elektrizitätsquelle noch mehr Ladung zuführen mufs. Die Kapazität von A ist also gesteigert.

Die Steigerung der Kapazität, die man durch Annäherung des nicht isolierten Leiters erzielt, kann aufserordentlich grofs sein. In der Tat wächst dieselbe mit jeder weiteren Annäherung; und wenn man den Abstand zwischen den beiden Leitern sehr klein

---

[1]) Fig. 7 stellt eine im physikalischen Institut der Bologneser Universität vorhandene Maschine mit vier Scheiben dar. Die Abbildung zeigt einen zwischen den Konduktoren der Maschine überspringenden Funken, dessen photographische Aufnahme in der Weise bewerkstelligt wurde, dafs man, nachdem die Maschine selbst bereits aufgenommen war, das Zimmer verdunkelte und dann bei geöffnetem photographischen Apparat die Entladung übergehen liefs. Soll ein Kondensator geladen werden, so setzt man denselben mit den beiden Konduktoren in Verbindung.

macht, so wird die Kapazität des unmittelbar geladenen Leiters ungeheuer grofs.

Der mit der Erde verbundene Leiter nimmt offenbar durch Influenz eine Ladung von entgegengesetztem Vorzeichen und nahezu dem gleichen absoluten Betrage an, wie die Ladung des ersten Leiters; diese Ladungen werden sehr bedeutend sein und dasselbe gilt von der elektrischen Dichte auf den einander gegenüberstehenden Flächen der beiden Leiter.

Unter solchen Verhältnissen kann es leicht geschehen, dafs das elektrische Gleichgewicht gewaltsam gestört wird und durch die dünne Luftschicht zwischen den beiden Leitern ein Übergang von Elektrizität stattfindet, wenn man nicht die Luftschicht durch einen festen und sehr widerstandsfähigen Isolator, wie Glas oder Glimmer, ersetzt. Ein derartiges System, das aus zwei einander sehr nahen und durch einen Isolator voneinander getrennten Leitern besteht, heifst ein Kondensator; die Kapazität, welche der erste Leiter angenommen hat, wird als Kapazität des Kondensators bezeichnet. Dieselbe kann hundertemal gröfser sein als diejenige, welche der erste Leiter für sich allein besitzen würde. Die beiden Leiter heifsen die Armaturen oder Belegungen des Kondensators.

Es ist übrigens nicht erforderlich, dafs eine der Armaturen das Potential Null hat; allgemeiner bezeichnet die Kapazität das Verhältnis zwischen der Ladung jeder Armatur und der Differenz ihrer Potentialwerte.

Die Gestalt der Armaturen ist ohne Einflufs. Behufs leichterer und bequemerer Herstellung pflegt man zur Konstruktion der Kondensatoren grofse Glasgefäfse oder Flaschen zu benutzen, die innen sowohl wie aufsen bis zu einer gewissen Höhe mit Stanniol bekleidet werden. Derartige Kondensatoren nennt man nach der Stadt, in welcher das Prinzip der Kondensatoren durch Zufall entdeckt wurde, Leydener Flaschen. Unserer Definition zufolge ist die Kapazität eines Kondensators proportional der Dielektrizitätskonstante (einer Gröfse, von der demnächst die Rede sein wird) des zwischen den Armaturen befindlichen Isolators, sowie ferner proportional der Oberfläche der Armaturen und umgekehrt proportional dem Abstande zwischen denselben.

Werden die inneren Armaturen oder Belegungen einer Anzahl von Kondensatoren miteinander verbunden, ebenso für sich die äufseren Belegungen, so leistet diese Anordnung dasselbe wie ein einziger Kondensator, dessen Kapazität gleich der Summe der

Kapazitäten jener einzelnen Kondensatoren ist. Dagegen erhält man einen Kodensator von geringerer Kapazität als die eines einzelnen, wenn man eine Anzahl von Kondensatoren in Serie, nach Art der Elemente einer galvanischen Batterie, miteinander verbindet. Auch diese Anordnung ist übrigens in gewissen Fällen von Vorteil, wenn es darauf ankommt, sehr hohe Potentiale zu erreichen.

Der Nutzen der Kondensatoren ist ein sehr grofser, denn dieselben bilden einen bequemen und billigen Ersatz für die einfachen Leiter, die bei gleicher Kapazität kolossale, ja praktisch unmögliche Dimensionen haben müfsten. Mit ihrer Hilfe ist es denn auch möglich, bei den Versuchen grofse Elektrizitätsmengen ins Spiel treten zu lassen und dadurch gewaltige Erscheinungen hervorzurufen. Besonders ist dies der Fall bei der Entladung, d. h. bei der Rückkehr zum natürlichen Zustande, mag diese Rückkehr nun allmählich oder auf gewaltsame Weise erfolgen. Das Studium der Entladungen liegt jedoch aufserhalb des Gebietes der Elektrostatik.

6. Die Dielektrika.

Lange Zeit hindurch glaubte man, die elektrostatischen Erscheinungen hätten ihren Sitz in den Leitern, und den dielektrischen Körpern falle nur die passive Aufgabe zu, als Isolatoren zu wirken. Neue Tatsachen von immer wachsender Bedeutung haben jedoch zur entgegengesetzten Auffassung geführt. Zunächst erkannte man, dafs die Menge der durch Influenz erzeugten Elektrizität von der Natur des isolierenden Mediums abhängt, welches die Leiter umgibt, oder mit anderen Worten, dafs die Kapazität eines Kondensators sich ändert, wenn man die Luft zwischen seinen Armaturen durch einen anderen Isolator ersetzt. Wird hierbei die Kapazität des Kondensators etwa verdoppelt, verdreifacht u. s. w., so sagt man, die Dielektrizitätskonstante des neuen Isolators sei gleich 2, gleich 3 u. s. w. Als Dielektrizitätskonstante einer Substanz bezeichnet man somit das Verhältnis zwischen der Kapazität eines Kondensators, dessen Belegungen durch jene Substanz voneinander getrennt sind, und der Kapazität, die der gleiche Kondensator besitzen würde, wenn zwischen seinen Armaturen sich lediglich atmosphärische Luft befände.

Ferner aber hat man an den Dielektricis gewisse Erscheinungen beobachtet, welche beweisen, dafs in diesen Körpern, wenn man sie in ein elektrisches Feld bringt, besondere Veränderungen vor

sich gehen. Benutzt man z. B. bei dem Influenzversuch an Stelle des Leiters B (Fig. 6) eine Stange aus isolierendem Material, so verhält sich dieselbe scheinbar ganz ähnlich wie der Leiter, obschon hier natürlich eine Bewegung der Elektrizität innerhalb des isolierenden Körpers nicht vorausgesetzt werden kann; höchstens könnte angenommen werden, dafs an jeder Stelle des Dielektrikums die Ladungen eine lokale Trennung erfahren. Auf alle Fälle aber ist bewiesen, dafs das Dielektrikum, wenn es der Wirkung des Feldes ausgesetzt ist, in allen seinen Teilen eine Veränderung elektrischer Art erfährt; diese Veränderung bezeichnet man mit dem Namen Polarisation. Seinen Ursprung hat dieser Name in einer Hypothese, die zur Erklärung der Wirkungsweise der Isolatoren aufgestellt wurde. Mit dieser Hypothese, überhaupt mit den allgemeinen Theorieen der elektrischen Erscheinungen wollen wir uns jetzt ein wenig beschäftigen.

7. Altere Hypothesen betreffs der Ursache der elektrischen Erscheinungen.

Es liegt in der menschlichen Natur begründet, dafs wir uns nicht damit begnügen, gegenüber den zahllosen Erscheinungen, welche die Aufsenwelt uns darbietet, den Zuschauer zu spielen, und dafs wir uns ebensowenig darauf beschränken, dieselben aufmerksam zu studieren oder anderweitige Erscheinungen, wie sie in der Natur uns nur selten und unter abweichenden Verhältnissen entgegentreten, unsererseits hervorzubringen und zum Gegenstand der Untersuchung zu machen. Wir streben vielmehr danach, die Erscheinungen untereinander in Zusammenhang zu bringen, ihre Gesetze festzustellen und, wenn irgend möglich, ihre Ursachen zu erraten. Die letzte Ursache der Erscheinungen des Weltalls zu erkennen, ist vielleicht dem menschlichen Geiste nicht gegeben, aber das Streben nach diesem Ziele hört nicht auf und erfährt nur dann eine gewisse Befriedigung, wenn wir auf Grund einer einfachen und vernunftgemäfsen Hypothese zu begreifen vermögen, wie aus derselben das Verständnis der Erscheinungen mit logischer Klarheit entspringt.

Die elektrischen Erscheinungen, die ihrer ganzen Natur nach so sehr von dem verschieden sind, was man gewöhnlich wahrnimmt, mufsten die Wifsbegierde der Denker im höchsten Mafse anreizen. Es ist darum nicht zu verwundern, dafs bereits zu einer Zeit, zu

welcher nicht einmal die Erscheinungen, die wir bis jetzt geschildert haben, sämtlich bekannt waren, auf Grund geeigneter Hypothesen Erklärungen aufgestellt wurden.

Lange Zeit hindurch war die Hypothese der elektrischen Fluida allgemein angenommen. Nach ihr haben die elektrischen Erscheinungen ihre Ursache in zwei gewichtslosen, überaus beweglichen Substanzen, welche die Eigenschaft besitzen, die Körper gewissermaſsen zu durchtränken und innerhalb der Leiter frei ihren Ort zu verändern, dennoch aber in gewissem Grade an der Materie zu haften, so daſs diese von einer Bewegung der Fluida leicht in Mitleidenschaft gezogen wird; endlich sollten die Fluida noch die Fähigkeit haben, aus der Ferne einander gegenseitig anzuziehen. Eine Fernwirkung, in diesem Falle aber eine Abstoſsung, findet nach der geschilderten Hypothese auch zwischen den verschiedenen Teilchen eines und desselben Fluidums statt.

Nach dieser Hypothese besitzt ein Körper im natürlichen Zustande gleiche Mengen beider Fluida, die vermöge ihrer entgegengesetzten Eigenschaften gegenseitig ihre Anwesenheit verdecken; die Entstehung des elektrischen Zustandes beruht darauf, daſs ein Überschuſs des einen Fluidums über das andere herbeigeführt wird. Der elektrische Zustand ist positiv oder negativ, je nachdem das eine oder das andere der beiden Fluida überwiegt. Die elektrischen Kräfte zwischen geladenen Körpern sind damit auf natürliche Weise erklärt. In der Tat muſs ja zwischen zwei Körpern, in welchen das gleiche Fluidum überwiegt, Abstoſsung stattfinden, weil die Abstoſsung zwischen den in den beiden Körpern vorhandenen Mengen desselben Fluidums stärker ist als die Anziehungskräfte zwischen dem einen Fluidum in dem einen und dem entgegengesetzten Fluidum in dem anderen Körper.

Die Entstehung der elektrischen Zustände in zwei Körpern bei gegenseitiger Reibung ist gleichfalls verständlich, denn sie reduziert sich auf den Übergang einer gewissen Menge des positiven Fluidums aus einem Körper in den anderen, wahrscheinlich mit dem gleichzeitigen Übergang einer gewissen Menge des negativen Fluidums in umgekehrter Richtung. Ebenso einfach zu erklären sind auch die Erscheinungen der Influenz in den Leitern. Sobald ein Leiter einem elektrisierten Körper genähert wird, müssen die beiden in jenem vorhandenen Fluida unter der Einwirkung der von dem elektrisierten Körper ausgehenden Kräfte Verschiebungen erleiden; das Fluidum, welches mit dem in dem

elektrisierten Körper vorherrschenden identisch ist, wird zurückgestoſsen und sammelt sich in den von dem influenzierenden Körper entfernteren Partieen des Leiters an, während das andere Fluidum angezogen wird und sich in den dem elektrisierten Körper nächsten Partieen des Leiters anhäufen muſs. Auch verschiedene andere elektrische Erscheinungen in den Leitern lassen sich in ihren Einzelheiten auf ähnliche Weise leicht erklären.

Der Theorie der beiden elektrischen Fluida trat jedoch bald die Theorie eines einzigen Fluidums entgegen und diese fand bei den Elektrikern, besonders in Italien, rasche Annahme, weil man sie für vernunftgemäſser als die andere hielt. Nach dieser Theorie gibt es nur ein einziges elektrisches Fluidum, dessen Teilchen einander abstoſsen, während zwischen ihnen und der Materie Anziehung stattfindet. Im natürlichen Zustande besitzt ein Körper von diesem Fluidum eine gewisse Menge, die als sehr groſs anzunehmen ist; der positive oder negative elektrische Zustand ist dadurch bedingt, daſs in dem Körper mehr oder weniger als die normale Menge des elektrischen Fluidums vorhanden ist. Auch mit dieser einfacheren Hypothese gelangt man somit zu einer Erklärung der Fundamentaltatsachen.

Es gab indessen stets Forscher, die sich zur Annahme unwägbarer und mit der Eigenschaft der Fernwirkung begabter Substanzen nur schwer verstehen konnten. Derartige Hypothesen hatten ja durch die Analogie der elektrischen Kräfte mit der allgemeinen Gravitation, die ebenfalls allseitig als eine Fernwirkung eines Körpers auf einen anderen betrachtet wurde, nahe genug gelegen; immer aber hatte es auch Geister gegeben, denen es unlogisch erschienen war, derartige Fernwirkungen anzunehmen, d. h. also zuzugeben, daſs ein Körper ohne Vermittelung an einer von seinem eigenen Orte mehr oder weniger entfernten Stelle irgend welche Wirkungen hervorbringen könne; sogar Newton beschränkt sich bei der Formulierung seines berühmten Gesetzes darauf, festzustellen, daſs alles vor sich geht, wie wenn zwischen den Körpern eine Anziehung im direkten Verhältnis ihrer Massen und im umgekehrten Verhältnis des Quadrates ihrer Entfernungen bestände. Als sich dann Tatsachen herausstellten, die auf Grund der Hypothese des elektrischen Fluidums nur schwer zu erklären waren, muſste sich natürlicherweise die Tendenz geltend machen, diese Hypothese überhaupt aufzugeben.

Dies war der Fall bei den Vorgängen der Influenz in Iso-

latoren, die mit Hilfe der herrschenden Hypothese in der Tat auf den ersten Blick nicht leicht zu erklären schienen. Freilich suchte man die Schwierigkeit auf geistreiche Weise zu beseitigen, indem man annahm, die Eigenschaft eines Körpers, ein mehr oder minder guter Leiter zu sein, sei hauptsächlich dadurch bedingt, daſs der Übergang des elektrischen Fluidums von einem Atom des Körpers zum anderen einem gewissen Widerstande begegne, während jedes Atom für sich betrachtet ein vollkommener Leiter sei. Es würde danach hinsichtlich des Verhaltens gegenüber dem elektrischen Fluidum, z. B. zwischen den Atomen des Schwefels und denjenigen des Kupfers, kein Unterschied bestehen, trotzdem der Schwefel ein guter Isolator und das Kupfer ein ausgezeichneter Leiter ist. Nur würde eben der Übergang der Elektrizität von Atom zu Atom beim Schwefel überaus schwer, beim Kupfer auſserordentlich leicht erfolgen.

Betrachtet man die Dinge auf diese Weise, so lassen sich die Eigenschaften der Dielektrika leicht erklären, ohne daſs man auf die grundlegende Hypothese des elektrischen Fluidums und seiner Fernwirkung zu verzichten braucht. Wird nämlich ein beliebiger Körper in das elektrische Feld eingeführt, so verhält sich jedes seiner Atome wie der Zylinder *B* der Fig. 6; das heiſst, es bildet sich auf der einen Seite jedes Atoms eine positive und auf der anderen Seite eine negative Ladung aus, oder mit anderen Worten, es tritt in jedem Atom durch die Wirkung der Feldkraft eine Verschiebung des elektrischen Fluidums ein. Ist der Körper ein Leiter, so verschwindet dieser Zustand der Polarisation alsbald infolge des Übergangs der Elektrizität von Atom zu Atom, und nach einer unmeſsbar kurzen Zeit sind die bekannten Influenzladungen an der Oberfläche des Leiters zur Ausbildung gelangt. Ist dagegen der Körper ein Isolator, dann dauert die Polarisation ebensolange wie die elektrische Kraft, von der sie erzeugt ist; von dieser Polarisation rühren auch die elektrischen Kräfte her, die von dem Körper ausgehen und durch welche sein Verhalten demjenigen eines Leiters ähnlich wird. Da nun andererseits ein Dielektrikum sich von einem anderen durch Zahl, Gestalt und Anordnung seiner Atome unterscheidet, so begreift man, weshalb zwei verschiedene Dielektrika das elektrische Feld in verschiedenem Grade beeinflussen, oder mit anderen Worten, weshalb ihre Dielektrizitätskonstanten verschieden ausfallen müssen. Gewisse Erscheinungen, welche das Verhalten isolierender Körper im elek-

trischen Felde darbietet, finden durch die Hypothese der elektrischen Polarisation nicht nur ihre Erklärung, sondern sie hätten auf Grund derselben sogar teilweise vorausgesehen werden können.

Verfolgt man innerhalb des Körpers eine Kraftlinie, so begegnet man einer Reihe von Atomen, von denen jedes auf der einen Seite positiv und auf der anderen Seite negativ geladen ist, und die so angeordnet sind, dafs je zwei benachbarte Atome einander entgegengesetzte Ladungen zukehren. All diese Atome müssen mithin einander anziehen und die ganze Reihe zeigt folglich das Bestreben einer Verkürzung. Verfolgt man dagegen eine Niveaufläche, so trifft man lauter Atome, deren positive Ladungen nach der einen Seite und deren negative Ladungen nach der anderen Seite der Niveaufläche gekehrt sind. Wie sich leicht zeigen läfst, müssen unter solchen Umständen diese Atome einander abstofsen und die Niveaufläche strebt sich zu vergröfsern. In einem elektrischen Felde müssen also die Dimensionen eines Isolators Veränderungen erfahren; transversal zur Richtung der Kraftlinien mufs er sich verlängern, dagegen parallel zu den Kraftlinien sich verkürzen. So mufs z. B., wenn man einen Kondensator ladet, das Glas zwischen seinen Belegungen dünner und breiter werden. In der Tat hat man diese Erscheinung festgestellt und näher untersucht.

Auf ähnliche Weise würde die Theorie des elektrischen Fluidums auch von noch so manchen anderen Erscheinungen, mit denen wir uns später zu befassen haben werden, Rechenschaft geben können; für jetzt aber ist es zweckmäfsiger, wenn wir dieser Theorie, die in der ursprünglichen Gestalt, wie sie hier auseinandergesetzt wurde, heute verlassen ist, die moderne Auffassung gegenüberstellen, welche die Annahme von Fernwirkungen überflüssig macht.

8. Moderne Ideen bezüglich des Sitzes der elektrischen Erscheinungen.

Der erste, der den Nichtleitern, denen man bis dahin nur eine passive Rolle als Isolatoren zugeschrieben hatte, seine Aufmerksamkeit widmete, war der berühmte englische Physiker Faraday. Allmählich gelangte dieser zu der Überzeugung, dafs der Sitz der elektrischen Erscheinungen der Hauptsache nach gar nicht in den Leitern, sondern in den Isolatoren zu suchen sei. Anfänglich fanden diese Ideen nur Mifstrauen, heute aber sind sie,

nachdem Maxwell ihnen einen mathematischen Ausdruck verliehen hat, allgemein angenommen.

Nach dieser neuen Anschauung haben die elektrischen Erscheinungen ihren Sitz hauptsächlich aufserhalb der Leiter. Nun ergibt sich aus zahlreichen Beobachtungen, dafs elektrische Erscheinungen auch dann möglich sind, wenn die Leiter sich in einem Raume befinden, in welchem die ponderable Materie gänzlich fehlt und nur der Weltäther, dessen Existenz auf Grund der Erscheinungen des Lichtes angenommen werden mufs, vorhanden ist; man kann also sagen, dafs die elektrischen Erscheinungen ihren Sitz in dem freien oder in dem in den Dielektricis vorhandenen Äther haben.

Ein elektrisches Feld entsteht, wenn das Dielektrikum (oder der Äther) polarisiert wird; die heutige Auffassung von dieser Polarisation ist jedoch von der vorhin auseinandergesetzten verschieden. Man denkt sich das polarisierbare Medium nicht mehr aus kleinen, voneinander isolierten Leitern aufgebaut, denn damit würden ja die Fernkräfte zwischen diesen Leitern nicht beseitigt; nach der heutigen Auffassung ist das Medium kontinuierlich. In ähnlicher Weise aber, wie die ältere Theorie annahm, dafs die Polarisation innerhalb jedes Teilchens des Dielektrikums eine Verschiebung des elektrischen Fluidums bewirke, so geht auch nach der neuen Theorie von jeder Stelle des Mediums aus eine derartige Verschiebung um eine sehr geringe Strecke vor sich. Dieser Verschiebung widersetzt sich eine entgegengesetzt gerichtete elastische Kraft, die, sobald die Ursache aufhört, welche die elektrische Verschiebung hervorgerufen hatte, diese letztere wieder zum Verschwinden bringt.

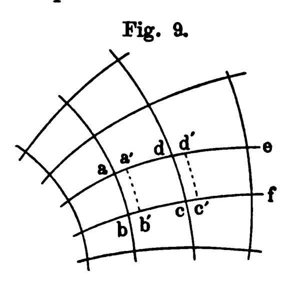
Auch die Maxwellsche Theorie behält also die Vorstellung von der Existenz eines elektrischen Fluidums oder eines materiellen Etwas, dem man den Namen Elektrizität gibt, bei, aber sie nimmt demselben die unwahrscheinliche Fähigkeit der Fernwirkung. Wenn zwischen zwei Leitern elektrische Fernkräfte zu wirken scheinen, so äufsert sich in diesen Kräften nichts weiter als das Bestreben des polarisierten Mediums, sich in der Richtung der Kraftlinien zu verkürzen. Damit diese Verkürzung tatsächlich eintreten kann, müssen die Leiter, auf welchen die Kraftlinien endigen, Verschiebungen erfahren, die in der älteren Theorie durch die Fernwirkung anziehender und abstofsender Kräfte erklärt wurden.

Oder man kann auch sagen, in den elektrischen Erscheinungen

offenbare sich die durch die elektrische Verschiebung geweckte Elastizität des Mediums. Zwar ist dies eine etwas unbestimmte Art, die Erscheinungen zu erklären; es läfst sich auch wirklich nicht recht angeben, wieso die elektrische Verschiebung und die durch sie entstehende Polarisation jene Spannungen hervorrufen, die dann als Distanzkräfte in die Erscheinung treten; wenigstens aber braucht man auf diese Weise keine derartigen Kräfte als wirklich vorhanden anzunehmen. Immerhin bedarf die Theorie der Vervollständigung; wir werden später sehen, auf welchem Wege wir mit der Zeit dahin zu gelangen hoffen.

Gleichwohl läfst es sich besser präzisieren, worin die Polarisation besteht, wenn wir uns das Dielektrikum, wie dies bereits angedeutet wurde, durch Niveauflächen und Kraftröhren in eine grofse Anzahl kleiner Zellen zerlegt denken. Die Kraftröhren ergeben sich, indem wir eine Niveaufläche in kleine aneinandergrenzende Gebiete zerlegen und durch den Umfang eines jeden die zugehörigen Kraftlinien ziehen. Nehmen wir dann an, alle die so entstandenen Zellen seien mit einer nicht zusammendrückbaren Flüssigkeit gefüllt und ihre Wände seien aus ungemein dünnen, aber gleichwohl vollkommen schliefsenden und elastischen Membranen gebildet, so wird es uns leicht, uns von der Polarisation eine Vorstellung zu machen. Der Polarisation des Dielektrikums entspricht dann nämlich in unserem Modell eine Verschiebung der Flüssigkeit längs der Kraftlinien. Hierbei mufs ein Teil der in jeder Zelle enthaltenen Flüssigkeit in den Raum eindringen, in dem sich vorher ein Teil der Flüssigkeit der nächstfolgenden Zelle befunden hatte, und die trennenden Membranen, welche auf einer und derselben Niveaufläche liegen, werden also alle im gleichen Sinne deformiert. Hört dann die Ursache der Verschiebung auf, so kehrt durch die Elastizität der Membranen die Flüssigkeit an die ursprüngliche Stelle zurück. Betrachten wir das von einer beliebigen Zelle vor der Deformation eingenommene Volumen *abcd* (Fig. 9) als fest im Raume, so wird die in dieser Zelle enthaltene Flüssigkeit nach der Deformation sich an der durch *a'b'c'd'* bezeichneten Stelle befinden und man kann also sagen, dafs durch jeden Querschnitt einer Kraftröhre *abef* in dem Augenblick, in welchem die Erscheinung stattgefunden hat, eine

Fig. 9.



gewisse Flüssigkeitsmenge hindurchgegangen ist. Und im gleichen Sinne darf auch gesagt werden, bei der Erzeugung der Polarisation dringe durch jeden Teil einer Niveaufläche ein gewisses Quantum von Elektrizität; der Ausdruck elektrische Verschiebung kann dann dazu dienen, die pro Flächeneinheit verschobene Elektrizitätsmenge zu bezeichnen. Nimmt man noch an, die Verschiebung in einem bestimmten Punkte sei proportional der daselbst wirkenden elektrischen Kraft, so gelangt man zu Schlufsfolgerungen, die durch die Erfahrung bestätigt sind.

Betrachten wir, was in den beiden Übergangsperioden geschieht, während deren die Verschiebung zu stande kommt oder verschwindet. Während der ersten findet innerhalb des Dielektrikums in der Richtung der Kraftlinien eine Bewegung von Elektrizität statt, die man zum Unterschiede von dem gewöhnlichen oder Leitungsstrome, von dem weiter unten die Rede sein wird, als dielektrische Strömung bezeichnen kann. Infolge der elastischen Rückwirkung, die nach unserer Annahme in dem Dielektrikum bestehen soll, dauert die dielektrische Strömung nur sehr kurze Zeit. Eine dielektrische Strömung von entgegengesetzter Richtung tritt ein, wenn die Ursache, welche die Verschiebung hervorgebracht hatte, verschwindet. In einem leitenden Medium dagegen äufsert sich keine elastische Rückwirkung; der elektrische Strom, den man in diesem Falle Leitungsstrom nennen kann, dauert so lange wie die elektromotorische Kraft, d. h. wie die Ursache der Verschiebung, und beim Aufhören dieser letzteren erfolgt keine Rückströmung, weil die Elastizität fehlt, welche beim Dielektrikum diese Strömung veranlafst hatte. In einem aus Isolatoren und Leitern gebildeten System können offenbar, wenn die letzteren nicht etwa geschlossene Linien bilden, keine dauernden Strömungserscheinungen zu stande kommen. Immerhin aber werden, während in den Isolatoren die Verschiebung vor sich geht, in den Leitern Leitungsströme auftreten; aus denjenigen Leitern oder Teilen von Leitern, von welchen Kraftlinien ausgehen, mufs positive Elektrizität austreten und sie mufs da, wo diese Linien endigen, in die Leiter eintreten, so dafs sich die Erscheinung zusammensetzt aus einem Leitungsstrom, der von dem Auftreten der Polarisation in dem Dielektrikum begleitet ist. Beim Verschwinden der elektromotorischen Kräfte treten in den Isolatoren Verschiebungsströme, in den Leitern Leitungsströme von der entgegengesetzten Richtung wie vorher auf, und mit ihnen kehrt das

ganze System in den natürlichen Zustand zurück. Betrachtet man gleichzeitig die dielektrischen und die Leitungsströme, so erkennt man, dafs dieselben ein in sich geschlossenes System bilden und in diesem Sinne läfst sich dann sagen, dafs es keine ungeschlossenen elektrischen Ströme gibt. Wie man sieht, mufs man hiernach das elektrische Fluidum oder die Elektrizität als vollkommen inkompressibel betrachten.

Die letzte Ursache der elektrischen Erscheinungen bleibt bei dieser Auffassung vollkommen unbestimmt. Seit einiger Zeit jedoch haben unsere Ideen betreffs der Natur der elektrischen Erscheinungen auf Grund der Vorgänge bei der Elektrolyse und bei den elektrischen Entladungen eine weitere Spezialisierung erfahren. Von diesen Vorgängen wird späterhin die Rede sein; erst dann können wir auch ein Bild entwerfen von den neueren Bestrebungen zur Aufklärung des intimeren Charakters der elektrischen Erscheinungen.

9. Quellen der Elektrizität.

Bei aufmerksamer Betrachtung der verschiedenen Verfahren, durch welche sich der elektrische Zustand hervorbringen läfst, erkennt man leicht in den meisten Fällen als notwendige und hinreichende Bedingung die Berührung zweier verschiedenartiger Körper, worauf häufig die Trennung derselben folgt. Sind die Körper Leiter, so braucht man dieselben, wie dies Volta zuerst bewiesen hat, nur miteinander in Berührung zu bringen und sie dann voneinander zu trennen, damit sie elektrisch werden; ist dagegen einer von den beiden Körpern, die man miteinander in Berührung bringen will, ein Nichtleiter, oder gehören beide zu dieser Klasse, so ist es vorteilhaft, dieselben aneinander zu reiben, weil dadurch nicht allein die Berührung befördert und die Zahl der Berührungsstellen vermehrt wird, sondern weil dadurch auch Teile der Körper, die bei einfacher Berührung nicht in Wirkung treten würden, zur Teilnahme an dem Vorgange herangezogen werden. Wie bekannt, gelangte Volta zu seinen Entdeckungen auf Grund eines denkwürdigen Versuches von Galvani. Gelegentlich seiner Untersuchungen über die Einwirkung der künstlich erzeugten und der atmosphärischen Elektrizität auf die lebenden Organismen hatte nämlich Galvani beobachtet, dafs die wie in beistehender Abbildung (Fig. 10) präparierten Schenkel eines frisch getöteten Frosches jedesmal in heftige Zuckungen

gerieten, wenn man einfach zwischen den Lendennerven und den Muskelteilen der Schenkel eine metallische Verbindung herstellte. Allerdings schrieb Galvani diese Erscheinung einer beständigen Entwickelung von Elektrizität innerhalb des Tieres zu, doch entging auch ihm die Tatsache nicht, dafs die beobachtete Wirkung besonders kräftig ausfiel, wenn die Verbindung mittels eines aus zwei verschiedenen Metallen zusammengesetzten Schliefsungsbogens hergestellt wurde.

Fig. 10.



Dieser letztere Umstand war es gerade, der Voltas Aufmerksamkeit in besonderem Mafse fesselte und ihn durch langwierige und geistreich erdachte Versuche zur Aufstellung seines Kontaktprinzips führte, das sich folgendermafsen aussprechen läfst: Treten zwei Körper miteinander in Berührung, so bildet sich zwischen denselben eine Potentialdifferenz aus, deren Betrag nur von der Natur der beiden Körper und dem physikalischen Zustande abhängt, in welchem sich dieselben befinden, und der darum von der Gestalt und den Dimensionen der Körper unabhängig ist. Bei einer gewissen Klasse von Leitern, welche die Metalle, die Kohle und einige andere feste Körper umfafst, folgen die Kontaktpotentialdifferenzen dem Voltaschen Gesetze, nach welchem die Verbindung vermittelst einer beliebigen Reihe anderer Leiter derselben Klasse den gleichen Erfolg hat wie die direkte Berührung. Aus diesem Gesetze folgt, dafs es nicht möglich ist, die Berührungspotentialdifferenzen unmittelbar mit Hilfe eines Elektroskops zur Erscheinung zu bringen, sondern dafs man vielmehr nach erfolgter Berührung die Körper, wenn man ihren elektrischen Zustand gesondert untersuchen will, voneinander trennen mufs. Auf diese Weise erhöht man auch das Potential eines jeden von ihnen, ganz ebenso wie man auch das Potential einer Belegung eines Kondensators steigert, indem man dieselbe von der anderen Belegung entfernt.

Es gibt jedoch Leiter, welche dem obigen Gesetze nicht ge-

horchen; es sind dies die Salzlösungen, die Säuren u. s. w., kurzum die von Volta als Leiter zweiter Klasse bezeichneten, heute Elektrolyte genannten Körper. Bei Benutzung derartiger Körper läfst sich die Verschiedenheit der Potentiale einander berührender Körper konstatieren, auch ohne dafs man nötig hat, dieselben voneinander zu entfernen. Ein einfaches Beispiel hierfür bietet eine aus drei verschiedenartigen Körpern, von denen wenigstens einer ein Elektrolyt sein mufs, z. B. aus Kupfer, Schwefelsäure, Zink und Kupfer hergestellte Reihe; man erhält auf diese Weise ein Voltasches Element (Fig. 11). Ohne dafs man diese Körper zu bewegen braucht, konstatiert man das Auftreten einer Potentialdifferenz zwischen den beiden Kupferstücken, welche die Enden der Reihe bilden; die Potentialdifferenz zwischen denselben ist die algebraische Summe der an den drei aufeinander folgenden Berührungsstellen vorhandenen Potentialdifferenzen. Nimmt man ferner an, dafs die Kontaktpotentialdifferenzen mit der Temperatur veränderlich sind und dafs Potentialdifferenzen nicht allein bei der Berührung zwischen verschiedenartigen Körpern, sondern auch zwischen Teilen eines und desselben Körpers, die sich in verschiedenen physikalischen Zuständen befinden, auftreten können, so ist die Entstehung der elektrischen Zustände in den anscheinend verschiedenartigsten Fällen auf die Berührung als einzige unmittelbare Ursache zurückgeführt.

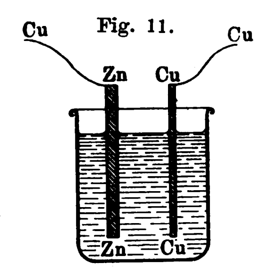


Fig. 11.

So wichtig aber auch vom wissenschaftlichen Standpunkte diese Einheit der unmittelbaren Ursache ist, so läfst sie doch die Frage nach der letzten Ursache völlig unentschieden. Mit anderen Worten besagt dies, dafs die Aufstellung des Kontaktprinzips keine Erklärung bedeutet. Immerhin hat man versucht, sich davon Rechenschaft zu geben, auf welche Weise die experimentell konstatierte Potentialdifferenz zwischen zwei einander berührenden Körpern eigentlich zustande kommt.

Anfangs mufste man sich mit unbestimmten Vorstellungen begnügen, etwa mit der Annahme, Körper von verschiedener Natur übten auf die Elektrizität eine ungleiche Anziehung aus; später rief man, besonders bei den Elektrolyten, die chemische Affinität zu Hilfe. Eine grundlegende Hypothese aber, ohne die man nichts zu erklären vermochte, drängte sich schliefslich in

unwiderstehlicher Weise auf: es war die Hypothese der Atomladungen, ohne die wir anscheinend auch heute nicht auszukommen vermögen.

Dieselbe nimmt an, dafs sämtliche Atome bei ihrer Absonderung aus den chemischen Verbindungen elektrisch geladen sind. Wird z. B. ein Wassermolekül zersetzt, so ist das Sauerstoffatom negativ geladen und die beiden Wasserstoffatome zeigen positive Ladungen, die zusammen dem absoluten Betrage nach gleich der negativen Ladung des Sauerstoffatoms sind. Nach dieser Annahme ist ferner die Elektrizitätsmenge der beiden Ionen (so nennt man nach Faradays Vorgang die beiden Atome oder Atomgruppen, in die sich das Molekül eines Elektrolyten spaltet) bei sämtlichen Körpern die gleiche.

Die Anregung zur Aufstellung dieser Hypothese boten die Vorgänge bei der Elektrolyse (von denen im zweiten Kapitel die Rede sein wird) und vor allem die Gesetze, welchen dieselbe unterliegt; aber auch sie ist für sich allein noch nicht imstande, das Auftreten der Potentialdifferenz zwischen zwei einander berührenden Körpern oder zwischen den Enden eines Voltaschen Elements zu erklären. Dazu bedarf es noch einer weiteren Hypothese: entweder derjenigen einer auswählenden Anziehung der Materie auf die Elektrizität, oder der ebenso unbestimmten Hypothese einer geheimnisvollen Affinitätskraft, oder endlich einer anderen, durch gröfsere Klarheit und Wahrscheinlichkeit ausgezeichneten Annahme, die in letzter Zeit im Zusammenhange mit den modernen Ideen bezüglich der verdünnten Lösungen in den Vordergrund getreten ist.

Man stellt sich hiernach vor, in den Lösungen sei beständig eine gewisse, wenn auch je nach den Umständen verschieden grofse Anzahl von Ionen oder elektrisierten Atomen vorhanden. Steht mit dem Körper, dem sie angehören, ein zweiter in Berührung, so breiten sie sich in diesen hinein mit verschiedenen Geschwindigkeiten aus und es sammeln sich infolgedessen in einem der beiden Körper in kurzer Zeit mehr positive als negative Ionen an, während in dem anderen dann notwendigerweise das Gegenteil stattfindet. Die beiden Körper haben damit entgegengesetzte elektrische Zustände angenommen oder mit anderen Worten, es hat sich zwischen denselben eine Potentialdifferenz ausgebildet, die in überaus kurzer Zeit einen unveränderlichen Maximalwert erreichen mufs, da naturgemäfs die elektrischen Kräfte dem Fortgange des Pro-

zesses, dem sie ihre Entstehung verdanken, einen Widerstand entgegensetzen. Die gleiche Erklärung läfst sich ohne allzu grofse Schwierigkeit auch auf den Fall der Berührung zwischen Metallen ausdehnen. A. Righi.

Zweites Kapitel.

Konstante elektrische Ströme.

10. Das galvanische Element.

Wie wir im vorhergehenden Paragraphen sahen, lassen sich die Leiter nach Volta in zwei Klassen einteilen, nämlich in die eigentlichen Leiter, zu welchen die Metalle, Kohle, Erze u. s. w. gehören, und die Elektrolyte, deren Leitfähigkeit an chemische Veränderungen geknüpft ist; zu dieser letzteren Klasse gehören die Salzlösungen, Säuren u. s. w. Für die Leiter der ersten Klasse, nicht aber für diejenigen der zweiten, gilt das Voltasche Gesetz, nach welchem das elektrische Gleichgewicht zwischen zwei Leitern, die durch eine beliebige Reihe von Leitern dieser Klasse miteinander in Verbindung stehen, nicht gestört wird, wenn man dieselben nunmehr in direkte Berührung miteinander bringt. Nachdem diese Berührung hergestellt ist, hat man einen Kranz oder Kreis in elektrischem Gleichgewicht, aus so und so vielen verschiedenen Leitern bestehend, von denen jeder ein konstantes, im allgemeinen von demjenigen der anderen Leiter verschiedenes Potential besitzt.

Nehmen dagegen an der Bildung des Kreises auch Leiter zweiter Klasse teil, so kann es geschehen, dafs das elektrische Gleichgewicht nicht mehr möglich ist. Zwischen den beiden äufsersten Leitern der Reihe kann nämlich in diesem Falle eine Potentialdifferenz bestehen, die von derjenigen verschieden ist, welche sich bei direkter, nicht durch die anderen Leiter vermittelter Berührung zwischen ihnen einstellen würde. Schliefst man dann den Kreis, indem man die beiden äufsersten Leiter ebenfalls miteinander in Berührung bringt, so stellt sich kein elektrisches Gleichgewicht her, vielmehr treten Erscheinungen auf, die ganz

anderer Art sind wie die im vorhergehenden Kapitel betrachteten statischen Erscheinungen. Geht man von der Hypothese eines elektrischen Fluidums aus, so ist es nur natürlich, dafs man die von Volta entdeckte neue Erscheinung als eine Bewegung jenes Fluidums betrachtet und sich vorstellt, in dem Leiterkreise finde eine Strömung von Elektrizität statt. Nimmt man dagegen an, dafs die elektrostatischen Erscheinungen der Hauptsache nach in dem die Leiter umgebenden Dielektrikum ihren Sitz haben, so wird man geneigt sein, auch die Erscheinungen des elektrischen Stromes in das Dielektrikum zu verlegen. In Leitern zweiter Klasse, die an der Bildung eines Kreises beteiligt sind, müssen wir jedoch auf alle Fälle einen wirklichen Bewegungsvorgang annehmen, da in diesen Körpern, wie wir sehen werden, ein Transport elektrisierter Ionen stattfindet; und gar manche Forscher neigen heute zu der Auffassung, dafs eine ähnliche Bewegung elektrisierter Teilchen auch in den vom Strome durchflossenen Metallen vor sich geht und dafs der Strom nichts anderes ist als eben diese Bewegung.

Man schreibt dem elektrischen Strome eine bestimmte Richtung zu; es ist dies diejenige Richtung, in welcher, nach der Hypothese der zwei Fluida, die Bewegung des positiven Fluidums erfolgt.

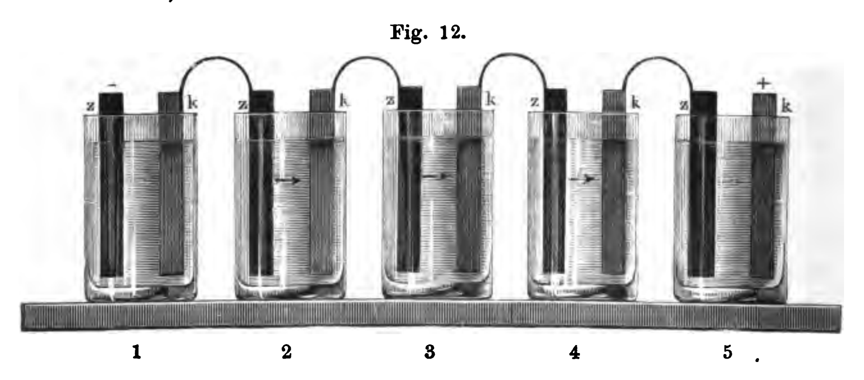
Ein möglichst einfaches Beispiel für die Erzeugung des elektrischen Stromes bietet sich uns in dem Voltaschen Element, von dem bereits die Rede gewesen. Dasselbe besteht aus einer Reihe von drei Leitern, von welchen wenigstens einer zur zweiten Klasse gehört, also z. B. aus Kupfer, Schwefelsäure und Zink. Wir wollen annehmen, der Stromkreis desselben sei geschlossen, d. h. es seien die drei aufeinander folgenden Kontakte zwischen dem Kupfer und der Säure, der Säure und dem Zink, dem Zink und dem Kupfer hergestellt. Würde einer der Leiter, etwa das Kupfer, durchschnitten, so hätte man ein Element mit offenem Stromkreis und man würde an demselben nur die bekannten elektrostatischen Erscheinungen wahrnehmen, insbesondere die entgegengesetzten elektrischen Kräfte an den Enden oder Polen des Systems; dagegen stellen sich im geschlossenen Kreise alle die Erscheinungen ein, die man dem elektrischen Strome zuzuschreiben pflegt.

Anstatt eines einzigen Voltaschen Elementes können wir deren auch mehrere benutzen und dieselben, wie in Fig. 12 (a. f. S.) zu sehen, in gleichem Sinne angeordnet, zu einer Reihe miteinander

verbinden. Bilden wir z. B. den Stromkreis in der Reihenfolge Kupfer—Säure—Zink—Kupfer—Säure—Zink, so haben wir eine aus zwei Elementen bestehende Batterie und in derselben Weise können wir uns eine Batterie auch aus einer beliebigen Anzahl von Elementen aufgebaut denken.

Der Apparat, den man jetzt allgemein ein galvanisches Element nennt, war von Volta als ein Paar bezeichnet worden; er

Fig. 12.



hatte diesen heute gewifs unzutreffenden Namen in erster Linie auf die Vereinigung von Kupfer und Zink bezogen und ihn deshalb gewählt, weil er glaubte, die Berührung zwischen den beiden Metallen sei die Hauptursache der Potentialdifferenz zwischen denselben. Heute dagegen nimmt man an, eine elektromotorische Wirkung, d. h. die Entstehung einer Potentialdifferenz, finde an allen Kontakten, wenn auch vielleicht hauptsächlich an denjenigen zwischen Elektrolyten und Metallen statt; aber die unzutreffende Bezeichnung des Systems der drei Leiter als „Paar“ hat sich gleichwohl in manchen Sprachen erhalten.

Galvanische Elemente lassen sich auch aus zwei Elektrolyten und einem Metall oder aus zwei Elektrolyten und zwei Metallen bilden; im letzteren Falle beträgt die Zahl der Berührungsstellen zwischen verschiedenartigen Substanzen offenbar vier. Ebenso liefsen sich noch anderweitige Kombinationen angeben. Die Summe der an den Berührungsstellen wirksamen elektromotorischen Kräfte oder mit anderen Worten der Potentialdifferenzen, denen man beim Übergang von einem Leiter zum folgenden nacheinander begegnet, heifst die elektromotorische Kraft des Elementes. Bei einer Batterie, d. h. einer Reihe von Elementen, spricht man ebenso von der Summe der elektromotorischen Kräfte der einzelnen

Elemente als der elektromotorischen Kraft der Batterie. Im offenen Stromkreise, dessen Pole wir uns aus dem gleichen Leiter bestehend denken, erzeugt die elektromotorische Kraft die elektrostatischen Erscheinungen, im geschlossenen Kreise erzeugt sie den Strom.

11. Das Ohmsche Gesetz.

Schliefst man den Stromkreis einer Batterie, indem man etwa die beiden Enden eines Drahtes mit den Polen derselben in Berührung bringt, so treten in den ersten Augenblicken gewisse Erscheinungen auf, die im allgemeinen von sehr kurzer Dauer und dadurch charakterisiert sind, dafs sie sich von einem Moment zum nächsten ändern. Mit diesem veränderlichen Zustande werden wir uns später befassen. Nach kurzer Zeit schon ist übrigens ein permanenter Zustand erreicht. In Wirklichkeit dauert infolge der Veränderungen, die durch den Strom selbst im Stromkreise herbeigeführt werden, auch dieser Zustand nur eine mehr oder weniger begrenzte Zeit; in der Theorie aber kann man der Einfachheit halber seine Dauer als unbestimmt annehmen. Man hat dann den konstanten elektrischen Strom, von dessen Erscheinungen wir uns nunmehr Rechenschaft geben wollen.

Die Wirkungen des elektrischen Stromes sind je nach den Körpern, welche er passiert, von verschiedener Art. So ruft er z. B. in einem Elektrolyten Zersetzungen hervor; ein Draht wird durch den Strom zum Schmelzen gebracht; die Nerven eines Tieres werden durch den Strom erregt und es treten Muskelzuckungen ein, wie in dem berühmten Versuche Galvanis, durch den Volta zu seinen Entdeckungen geführt wurde. Gewisse Wirkungen des Stromes jedoch sind unabhängig von der Natur des Körpers, in welchem derselbe zirkuliert. Zu diesen gehört z. B. die Erzeugung eines elektrischen Feldes durch den Strom. Denn wenn auch nach der Schliefsung des Stromkreises das Potential innerhalb eines jeden der Leiter, aus welchen derselbe sich zusammensetzt, nicht mehr konstant ist, so wird dasselbe deshalb doch nicht gleich Null und somit verschwindet auch das elektrische Feld keineswegs. Vielmehr ist in einem Leiter, der einem geschlossenen Stromkreise angehört, das Potential von Punkt zu Punkt verschieden, ganz ebenso wie in einem Stabe, dessen eines Ende warm erhalten und dessen anderes Ende beständig abgekühlt wird und in dem also beständig eine Ausbreitung von Wärme stattfindet, die Temperatur von Punkt

zu Punkt variiert oder wie sich der hydrostatische Druck in einem Rohre ändert, in dem ein permanenter Flüssigkeitsstrom zirkuliert. Mit dem elektrischen Felde, welches durch konstante Ströme erzeugt wird, brauchen wir uns hier nicht zu beschäftigen. Dagegen wollen wir auf die überaus nahe Analogie, welche zwischen dem elektrischen und dem Wärmestrom besteht, näher eingehen, denn auf Grund dieser Analogie gelangte der Mathematiker Ohm zur Aufstellung eines Gesetzes, welches für die Erscheinungen, mit denen wir uns in diesem Kapitel beschäftigen, von grundlegender Wichtigkeit ist.

Das Ohmsche Gesetz besagt, dafs längs eines homogenen Leiters von konstantem Querschnitt, welcher dem Stromkreise einer Batterie angehört, das Potential gleichmäfsig variiert. Nehmen wir also den Leiter als geradlinig an, und denken wir uns an jeder Stelle desselben zu seiner Richtung eine Senkrechte, deren Gröfse zu dem Werte des Potentials an der betreffenden Stelle proportional sein soll, so bilden die Endpunkte aller dieser Senkrechten eine gerade Linie. Setzt man an Stelle des Potentials das Wort Temperatur, so gilt das gleiche Gesetz auch für die permanente Ausbreitung der Wärme innerhalb einer homogenen Platte. In diesem Falle ist die Wärmemenge, welche in der Zeiteinheit durch die Platte hindurchtritt, proportional der Temperaturdifferenz zwischen den gegenüberstehenden Flächen derselben und sie hängt aufserdem von der Dicke und dem Material der Platte ab; ebenso ist die Elektrizitätsmenge, welche einen Leiter in einer Sekunde passiert, oder mit anderen Worten die Stromintensität, proportional der Potentialdifferenz zwischen den Enden des Leiters und sie ist ferner bedingt durch das Material und die Dimensionen desselben. Das Verhältnis zwischen der Potentialdifferenz und der Stromintensität bezeichnet man als den Widerstand des Leiters.

Der Widerstand eines Leiters hängt von den Dimensionen desselben ab; er ist proportional seiner Länge und umgekehrt proportional seinem Querschnitt. Er ist ferner verschieden je nach der Natur des Leiters und man bestimmt deshalb, um die verschiedenen Körper in dieser Hinsicht miteinander vergleichen zu können, den spezifischen Widerstand, d. h. den Widerstand eines Stückes von der Einheit der Länge und der Einheit des Querschnittes. Die Leitfähigkeit eines Stoffes ist gleich Eins dividiert durch den spezifischen Widerstand, oder gleich dem umgekehrten Betrage dieses letzteren. Wie für die Elektrizitätsmenge

und das Potential, so hat man auch für die Stromintensität und den Widerstand geeignete Mafseinheiten festgesetzt; die Einheit der Stromintensität hat den Namen Ampère, diejenige des Widerstandes den Namen Ohm erhalten. Die Intensität des Stromes in einem Leiter von 1 Ohm Widerstand beträgt 1 Ampère, wenn zwischen seinen Enden eine Potentialdifferenz von 1 Volt besteht.

Wendet man das Ohmsche Gesetz anstatt auf ein begrenztes Stück eines Leiters auf den ganzen Stromkreis an, so findet man, dafs die Intensität des Stromes in demselben gleich ist dem Verhältnis zwischen der Potentialdifferenz, welche man bei offenem Stromkreise an den Polen der Batterie finden würde, und dem Widerstande des gesamten Stromkreises oder der Summe der Widerstände der einzelnen Leiter, aus welchen der Stromkreis sich zusammensetzt.

12. Die Elektrolyse.

Wie bereits gesagt wurde, ist in den Leitern zweiter Klasse, den sogenannten Elektrolyten, der Durchgang des elektrischen Stromes von einem chemischen Prozesse begleitet, welcher auf Grund der bereits auseinandergesetzten Hypothesen ohne Schwierigkeit zu erklären ist. Ein Leiter zweiter Klasse, etwa die Lösung eines Salzes in Wasser, sei in den Stromkreis einer Batterie eingeschaltet und werde also von einem Strom durchflossen. Solange kein Strom vorhanden war, bewegten sich die in der Flüssigkeit enthaltenen freien positiven und negativen Ionen unterschiedslos nach allen Richtungen; nun aber bewegen sich die positiven Ionen in vorherrschendem Mafse in der Richtung des Stromes und die negativen hauptsächlich in der entgegengesetzten Richtung. Die einen wie die anderen gelangen auf diese Weise an die Grenzen der Lösung, d. h. an die Stellen, wo dieselbe mit anderen Teilen des Stromkreises in Berührung steht, und sie geben hier ihre Ladungen ab. In diesem durch die Ionen vermittelten Elektrizitätstransport nach entgegengesetzten Richtungen besteht eben der elektrische Strom innerhalb eines Elektrolyten. Während die Ionen ihre Ladungen an die Metallplatten abgeben, durch welche der Elektrolyt in den Stromkreis eingeschaltet ist, vollzieht sich andererseits in sichtbarer Form die Ausscheidung der beiden neuen Stoffe, in welche der Elektrolyt sich spaltet; und da wir ferner angenommen hatten, die Ladungen sämtlicher Ionen seien dem absoluten Betrage nach von gleicher Gröfse, so erklärt sich

auch das von Faraday aufgefundene Gesetz, wonach die Elektrizitätsmenge, welche durch einen Elektrolyten hindurchgeht, proportional ist der bei diesem Durchgange zersetzten Elektrizitätsmenge, oder proportional der Menge eines jeden der beiden Bestandteile des Elektrolyten, die sich auf den beiden Metallplatten ablagern. Diese letzteren werden Elektroden genannt, und zwar bezeichnet man als positive Elektrode oder Anode diejenige, auf welcher, wenn der Elektrolyt beseitigt und dadurch der Strom unterbrochen würde, eine positive Ladung vorhanden sein würde; die andere ist die negative Elektrode oder Kathode. Die spezielle Art der Zersetzung, welche mit den angegebenen Eigentümlichkeiten den Durchgang des Stromes durch eine Flüssigkeit begleitet, nennt man Elektrolyse. Von den Ionen ist selbstverständlich dasjenige, welches zur positiven Elektrode wandert, das mit negativer Elektrizität geladene, während dasjenige, welches sich zur negativen Elektrode wendet, eine positive Ladung besitzen mufs. Allgemein bezeichnet man als elektropositiv solche Körper, welche sich, wie die Metalle, auf der negativen Elektrode abscheiden, die anderen als elektronegativ.

In dem Falle, den wir bisher betrachtet haben, sind es die elektrischen Kräfte, welche die Bewegung der Ionen beeinflussen und leiten; dagegen bewegen sich in einem galvanischen Elemente bei geschlossener Kette, etwa in dem Element Kupfer—Schwefelsäure—Zink—Kupfer, die Ionen der Flüssigkeit und der beiden Metalle infolge der verschiedenen Diffusionsgeschwindigkeiten, welche sie besitzen. Gleichzeitig mit der Elektrolyse der Flüssigkeit entsteht ferner in dem galvanischen Elemente durch die Vereinigung der negativen Ionen der Flüssigkeit mit den Ionen eines der Metalle eine neue Verbindung; in unserem Falle ist dies das Zinksulfat. Nun ist bekanntlich die Entstehung einer chemischen Verbindung im allgemeinen mit einer Wärmeentwickelung, d. h. mit einer Umwandlung von potentieller chemischer Energie in Wärmeenergie, die Zersetzung einer Verbindung mit einer Umwandlung in entgegengesetztem Sinne verknüpft. Bei der Bildung des neuen Salzes wird also Energie frei und zwar übertrifft dieselbe den Betrag an Energie, welcher gleichzeitig durch Zersetzung der Säure verschwindet, d. h. in die potentielle Form übergeht. Dies mufs in der Tat der Fall sein, denn aus jenem Überschufs stammt die Energie des Stromes, welche uns z. B. in seiner Fähigkeit entgegentritt, eine Flüssigkeit, durch die man ihn leitet,

zu zersetzen, oder, wie wir demnächst erfahren werden, in einem von ihm durchflossenen Leiter Wärme zu entwickeln.

Die Gleichheit der Ladungen verschiedenartiger Ionen folgt aus einem zweiten, ebenfalls auf experimentellem Wege von Faraday nachgewiesenen Gesetze, welches besagt, dafs die durch eine und dieselbe Elektrizitätsmenge zersetzten Quantitäten verschiedener Elektrolyte den chemischen Äquivalenten derselben proportional sind.

Sind die Zersetzungsprodukte des Elektrolyten Gase, so überziehen sich die Elektroden mit Bläschen derselben, die nach kurzer Zeit sich ablösen und an die Oberfläche der Flüssigkeit emporsteigen, wobei aber doch im allgemeinen eine unsichtbare Gasschicht an den Elektroden haften bleibt. Flüssige oder feste Zersetzungsprodukte (z. B. Quecksilber oder Kupfer) können je nach der Natur der Elektrode sich von derselben loslösen, oder fest daran haften bleiben. Beispiele dafür, wie die Ionen beim Verlust ihrer Ladung fest an der Elektrode haften und wie dieser Vorgang industriell verwertet wird, bieten sich in den verschiedenen Prozessen der galvanischen Metallausscheidung, der Galvanoplastik, der galvanischen Vergoldung, Vernickelung u. s. w.

13. Die Akkumulatoren.

Auch wenn die Elektroden anscheinend keinerlei Veränderung erfahren haben, haftet in den meisten Fällen an denselben eine unsichtbare heterogene Schicht, welche die Ursache der wichtigen Erscheinung der Polarisation bildet. Es handelt sich hierbei um folgendes.

Bildet man einen Kreis aus nur zwei Körpern, z. B. aus Platin und verdünnter Schwefelsäure, so kann derselbe aus Gründen der Symmetrie unmöglich der Sitz eines elektrischen Stromes sein. Unterbricht man jedoch den Kreis, indem man das Platin durchschneidet, und verbindet die beiden Teile desselben mit den Polen einer galvanischen Batterie, so zirkuliert in dem neuen Kreise ein elektrischer Strom und das angesäuerte Wasser wird zersetzt; auf der mit dem negativen Pol der Batterie verbundenen Platinplatte wird Wasserstoff, an der positiven Platte Sauerstoff frei. Streng genommen sind diese beiden Gase allerdings nicht die Ionen, welche unmittelbar durch die Zerlegung der Moleküle der Flüssigkeit entstehen; ihr Auftreten ist erst die Folge lokaler chemischer Prozesse, doch brauchen wir hierauf nicht näher einzugehen. Schaltet man dann die Batterie aus und stellt den ur

sprünglichen, lediglich aus der Flüssigkeit und dem Platin gebildeten Kreis aufs neue her, so konstatiert man nunmehr in demselben das Vorhandensein eines Stromes, dessen Richtung derjenigen des Stromes, welcher die Elektrolyse bewirkt hatte, entgegengesetzt ist. Dieser neue Strom heifst Polarisationsstrom. Das Auftreten desselben erklärt sich dadurch, dafs der Kreis Platin—Säure—Platin nach stattgehabter Elektrolyse in Wirklichkeit nicht mehr lediglich aus zwei Körpern besteht; die Gase sind an den Elektroden haften geblieben und haben die eine gewissermafsen aus Platin in Sauerstoff, die andere in Wasserstoff verwandelt. Elektroden, deren Oberfläche derart verändert ist, nennt man polarisiert und der aus ihnen und der Flüssigkeit gebildete Kreis verhält sich nicht anders wie ein wirkliches galvanisches Element. Leitet man den Strom anstatt durch die geschilderte einfache Kombination durch ein System, in welchem Platinplatten und der Elektrolyt wiederholt miteinander abwechseln, so wird auch dieses System polarisiert und verhält sich dann ganz wie eine galvanische Batterie.

Die Elektrolyse, welche in dem geschilderten Polarisationselemente oder, wie man dasselbe zu bezeichnen pflegt, Sekundärelemente ebenso wie in jedem anderen Elemente stattfindet, wenn man seine Pole miteinander verbindet und dadurch einen Strom erzeugt, hat zur Folge, dafs zu der mit Sauerstoff bekleideten Elektrode Wasserstoffatome und zu der mit Wasserstoff bekleideten Elektrode Sauerstoffatome geführt werden. Die Wassermoleküle, welche beim Durchleiten des Stromes der galvanischen Batterie zersetzt worden waren, werden auf solche Weise wieder hergestellt und dies dauert so lange an, bis der Vorrat an den Gasen, welche die Polarisation der beiden Elektroden bedingen, erschöpft ist.

Nach dem Aufhören des Polarisationsstromes kann man vermittelst einer galvanischen Batterie die Elektroden des Sekundärelementes von neuem polarisieren oder, wie man zu sagen pflegt, das Element von neuem laden, worauf dasselbe dann einen neuen Polarisationsstrom oder, wie der Ausdruck lautet, eine neue Entladung zu liefern vermag.

Ladung und Entladung eines Sekundärelementes oder einer Sekundärbatterie stellen offenbar entgegengesetzte Energieumwandlungen dar. Wenn anderweitige Umwandlungen nicht stattfinden, geht die Energie des Stromes, wie wir sehen werden, schliefslich vollständig in Wärme über; dagegen wird bei der Ladung eines

Sekundärelementes ein Teil derselben durch die Zersetzung der Bestandteile des Elektrolyten in potentielle chemische Energie übergeführt und diese letztere verwandelt sich bei der Entladung wieder in Stromenergie, die nun ihrerseits Wärme erzeugen, elektrische Motoren treiben, Elektrolyte zersetzen, kurzum sämtliche Wirkungen eines elektrischen Stromes hervorrufen kann.

Von Ladung und Entladung war auch bereits bei den Kondensatoren die Rede gewesen; aber die Vorgänge, welche wir dort damit bezeichnet hatten, sind von den hier in Betracht kommenden gänzlich verschieden. Die Belegungen eines Kondensators werden mit Elektrizität geladen und die Elektrizität selbst ist es, welche die Erscheinungen der Entladung bewirkt; beim Sekundärelement dagegen besteht der Ladungsvorgang darin, dafs auf den Elektroden gewisse Substanzen gebildet oder niedergeschlagen werden, und die Entladung besteht in der Erzeugung eines elektrischen Stromes unter gleichzeitiger Elektrolyse, welche die bei der Ladung gebildeten Substanzen wiederum verzehrt.

Als Elektrodenmaterial ist später an Stelle des Platins das Blei getreten; diese Form des Sekundärelementes ist der bekannte Akkumulator, dem eine so ausgedehnte praktische Verwendung zuteil geworden ist. Die Stoffe, welche sich auf den Elektroden niederschlagen, sind in diesem Falle der Hauptsache nach gewisse Bleiverbindungen, die vermittelst besonderer Verfahren in grofser Menge und geeigneter Form erzeugt werden, so dafs der Entladungsstrom auch bei erheblicher Intensität lange andauern oder, um es anders auszudrücken, bedeutende Elektrizitätsmengen in Bewegung setzen kann. Infolge unvermeidlicher Verluste fällt allerdings die gesamte Elektrizitätsmenge, welche den Entladungsstrom bildet, stets etwas geringer aus als die in dem Ladungsstrom dem Akkumulator zugeführte Menge; anderseits aber bieten die Akkumulatoren gegenüber den galvanischen Batterien so viele Vorteile, dafs ihre Benutzung trotz dieses Verlustes zweckmäfsig bleibt.

14. Thermische Wirkungen des Stromes.

Jeder Leiter, durch welchen ein elektrischer Strom fliefst, erwärmt sich. Man findet diese Erwärmung bei den Leitern erster Klasse wie bei den Elektrolyten; sie geht beständig und in der ganzen Masse des Leiters vor sich. Trotzdem aber kann die Temperatur des Leiters nicht unbegrenzt ansteigen; denn sobald dieselbe höher geworden ist als diejenige der Umgebung, mufs

der Leiter an seine Umgebung Wärme abgeben und der auf solche Weise stattfindende Verlust wird mit dem Steigen der Temperatur des Leiters immer rapider. So dauert es nicht lange, bis der in einer bestimmten Zeit stattfindende Verlust ebenso grofs geworden ist wie die in der gleichen Zeit durch den Strom erzeugte Wärmemenge; von da ab bleibt die Temperatur des Leiters konstant.

Diese konstante Temperatur kann je nach der mehr oder minder reichlichen Wärmeentwickelung und dem mehr oder minder grofsen Verluste verschieden hoch ausfallen; sie kann so hoch sein, dafs ein bei gewöhnlicher Temperatur fester Körper sich in einen glühenden Dampf verwandelt oder dafs ein nicht schmelzbarer Körper in helle Glut gerät. Diese Art, hohe Temperaturen zu erzeugen, wird bekanntermafsen in der elektrischen Beleuchtung, den elektrischen Öfen u. s. w. praktisch verwertet.

Während aber die Temperatur des von dem Strome durchflossenen Leiters, wie wir gesehen haben, von dem Zustande seiner Umgebung abhängt, ist die in einer gegebenen Zeit entwickelte Wärmemenge aufser durch die Intensität des Stromes nur durch die physikalischen Eigenschaften und die Dimensionen des Leiters bedingt. Lange Zeit hindurch hatte man vergeblich nach einer einfachen Beziehung zwischen der von einem Leiter erreichten Temperatur auf der einen und der Intensität des Stromes und dem Widerstande des Leiters auf der anderen Seite gesucht; man begreift jetzt, weshalb dieses Suchen vergeblich sein mufste. Erst als der Engländer Joule anstatt der Temperaturen die durch den Strom entwickelten Wärmemengen und gleichzeitig damit den Widerstand des Leiters und die Stromintensität mafs, erhielt er aus den gefundenen Zahlen das nach ihm benannte einfache Gesetz. Dasselbe besagt, dafs die durch einen Strom in einem Leiter entwickelte Wärmemenge 1. dem Widerstande des Leiters, 2. dem Quadrate der Stromstärke proportional ist, so dafs also bei Verdoppelung, Verdreifachung der Stromstärke u. s. w. die Wärmemenge nicht verdoppelt, verdreifacht u. s. w. wird, sondern auf den vierfachen, den neunfachen Betrag u. s. w. ansteigt. Offenbar ist ferner die Wärmemenge proportional der Zeit, während deren der Leiter von dem Strome durchflossen wird.

Auf Grund des Gesetzes der Erhaltung der Energie bedingen die beiden Gesetze von Ohm und von Joule einander gegenseitig, und wenn man eines von denselben als hinlänglich durch die Er-

fahrung bewiesen ansieht, so ist streng genommen für das andere ein derartiger Beweis überflüssig. Tatsächlich jedoch wurden beide durch überaus zahlreiche, von verschiedenen Physikern zu verschiedenen Zeiten ausgeführte sorgfältige Bestimmungen als völlig genau nachgewiesen.

Eine besondere Betrachtung erfordert eine andere durch den Strom hervorgerufene Wärmeerscheinung, nämlich das nach seinem Entdecker benannte Peltiersche Phänomen. Dasselbe tritt ein, wenn der Strom aus einem Leiter in einen anderen von verschiedener Natur übergeht, und zwar kann dasselbe in einer Entwickelung oder einer Absorption, d. h. also Vernichtung von Wärme bestehen und demgemäſs kann die Temperatur an der Grenzfläche zweier Leiter, an welcher jenes Phänomen seinen Sitz hat, sowohl steigen als sinken. Man hat Ursache, das Peltiersche Phänomen auf die Potentialdifferenz bei der Berührung zweier Leiter, oder genauer gesagt, auf die mechanische Arbeit zurückzuführen, welche mit dem Übergang von Elektrizität aus einem Leiter in einen anderen verbunden ist und welche je nach den Umständen positiv oder negativ sein kann. Allerdings findet man die erzeugte oder zerstörte Wärmemenge, die der Stromintensität und der Potentialdifferenz an der Berührungsfläche proportional sein sollte, tatsächlich nicht proportional der vermittelst elektrometrischer Methoden bestimmten Potentialdifferenz; indessen übt bei diesen Methoden das Dielektrikum notwendigerweise einen Einfluſs aus, dem man bis jetzt noch nicht genau Rechnung zu tragen vermochte.

Ein dem Peltierschen ähnliches, das Thomsonsche Phänomen, tritt auf, wenn der Strom nicht von einem Metall in ein anderes, sondern innerhalb eines und desselben Metalles von einer Stelle zu einer anderen übergeht, deren Temperatur von derjenigen der ersten verschieden ist.

In einem aus lauter Leitern erster Klasse zusammengesetzten Kreise besteht, solange die Temperatur allenthalben die gleiche ist, kein Strom; wird aber eine oder eine Anzahl der Berührungsstellen zwischen verschiedenartigen Leitern erwärmt oder abgekühlt, so entsteht im allgemeinen ein Strom, der thermoelektrischer Strom genannt wird. Waren in dem Kreise auch Leiter zweiter Klasse vorhanden, so daſs also auch bei konstanter Temperatur in demselben ein Strom bestand, so ändert sich im allgemeinen die Intensität desselben, wenn eine der Berührungsstellen erwärmt

oder abgekühlt wird. Der thermoelektrische Strom wird in diesem Falle gewissermaſsen zu dem vorher vorhanden gewesenen Strome addiert bezw. von demselben subtrahiert.

Natürlich müssen die thermoelektrischen Ströme das Peltiersche Phänomen hervorrufen. Betrachten wir der Einfachheit halber einen nur aus zwei Metallen bestehenden Kreis, so findet an der erwärmten Berührungsstelle ein Verbrauch, an der anderen eine Erzeugung von Wärme statt. Die verbrauchte Wärmemenge übertrifft aber die entwickelte; und die Differenz ist, gemäſs dem Gesetz der Erhaltung der Energie, gleich der Wärmemenge, die der Strom innerhalb der Leiter entwickelt. Die thermoelektrischen Ströme stehen also mit dem Peltierschen Phänomen in naher Beziehung.

Die thermoelektrischen Ströme werden für gewisse Zwecke praktisch verwertet. Aus dem Auftreten derselben in besonderen Apparaten, den thermoelektrischen Batterieen, läſst sich auf das Bestehen einer wenn auch geringen Temperaturdifferenz zwischen den Verbindungsstellen des Stromkreises schlieſsen, und die erwähnten Batterieen können deshalb als überaus empfindliche Wärmemeſsapparate dienen. A. Righi.

Drittes Kapitel.

Das magnetische Feld.

15. Die Magnete.

Es gibt in der Natur ein Eisenoxyd, welches den Namen Magneteisenstein trägt und welches die eigentümliche Fähigkeit besitzt, das Eisen anzuziehen. Diese Fähigkeit ist schon seit alten Zeiten bekannt; am stärksten tritt sie an gewissen Stellen des Minerals hervor, die man als dessen Pole bezeichnet; sie läſst sich ferner dauernd auf Stücke aus nicht ganz reinem Eisen oder besser aus wirklichem Stahl übertragen, und falls diese die Gestalt längerer Stäbe haben, so liegen ihre Pole im allgemeinen an den Enden. Einen Stahlstab, der die angedeutete Fähigkeit erlangt hat, nennt man einen künstlichen Magneten; das Mineral, welches die magnetische Eigenschaft auf ihn übertragen hatte, ist ein natürlicher Magnet.

Wird ein Magnet vollkommen frei beweglich aufgehängt, so nimmt er eine bestimmte Richtung im Raume an; die Vertikalebene, in welcher sich die Achse des Magneten befindet, heifst der magnetische Meridian. Ein allgemein bekanntes Instrument, der Kompafs, ist so eingerichtet, dafs der Magnet oder die Magnetnadel sich nur um eine vertikale Achse drehen kann; die Nadel stellt sich deshalb in die dem magnetischen Meridian angehörige Horizontale. Vom astronomischen Meridian weicht dieselbe um einen Winkel ab, den man Deklination nennt; man kann also nur angenähert sagen, von den beiden Spitzen der Magnetnadel sei die eine gegen Norden, die andere gegen Süden gerichtet. Immerhin lassen sich mit Hilfe dieser Orientierung die beiden Pole eines Magneten voneinander unterscheiden, und zwar ist man übereingekommen, als Nordpol den ungefähr gegen den Nordpol der Erde, als Südpol den ungefähr gegen den Südpol der Erde gerichteten Pol des Magneten zu bezeichnen.

Zwischen den Polen zweier Magnete äufsern sich Kräfte, welche den elektrischen Kräften analog sind. Gleichnamige Pole stofsen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an, und zwar ändern sich auch die magnetischen Kräfte — wie Coulomb, der Entdecker der analogen Gesetze für die elektrischen Kräfte, mit Hilfe delikater Messungen nachgewiesen hat — umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung zwischen den aufeinander wirkenden Polen.

Auf gleiche Weise wie die Einheit der Elektrizitätsmenge wird ferner die Einheit des Magnetismus oder die Einheit der magnetischen Polstärke definiert und nach dieser Definition ergibt sich, dafs die magnetischen Kräfte den Mengen des Magnetismus oder den Intensitäten der Pole proportional sind, zwischen welchen sich jene Kräfte äufsern.

Den Raum, in welchem die magnetischen Kräfte auftreten, nennt man ein magnetisches Feld; als magnetische Kraft in einem Punkte wird diejenige Kraft bezeichnet, welche an dem betreffenden Punkte wirken würde, wenn daselbst die Einheit der magnetischen Polstärke vorhanden wäre. Da nun das Fundamentalgesetz der magnetischen Kräfte das gleiche ist wie dasjenige der elektrischen Kräfte, so gelten die Eigenschaften des elektrischen Feldes auch für das magnetische. Ganz wie dort, so spricht man auch hier von der magnetischen Kraft an einer bestimmten Stelle des Feldes, von einem magnetischen Potential, von Niveauflächen des Magnet-

feldes, von magnetischen Kraftlinien u. s. w. Es gibt ferner eine der elektrischen ähnliche magnetische Influenz, doch gleicht das Verhalten des Eisens im Magnetfelde nicht demjenigen der Leiter, sondern demjenigen der Nichtleiter im elektrischen Felde. Ist das Eisen völlig rein, so verschwindet mit der Einwirkung des Feldes auch die durch Influenz erzeugte magnetische Polarität; eine Spur derselben bleibt indessen bestehen, wenn das Eisen auch nur die geringsten Verunreinigungen enthält; sind demselben, wie im Stahl, gewisse fremde Substanzen beigemengt, so entsteht unter dem Einflufs des Feldes ein wirklicher Magnet. Der Stahl, so sagt man deshalb, besitzt eine gewisse Koerzitivkraft. Für dieses Verhalten des Stahles gibt es unter den im ersten Kapitel geschilderten elektrischen Erscheinungen kein Analogon.

Noch in einer anderen Beziehung besteht übrigens ein wesentlicher Unterschied zwischen den elektrischen und den magnetischen Erscheinungen. Während der elektrische Zustand von einem Leiter aus auf andere überzugehen vermag, fehlt beim Magnetismus eine analoge Erscheinung; es gibt, mit anderen Worten, keine magnetische Leitfähigkeit.

In jedem Magneten findet man stets zwei entgegengesetzte Pole von derselben Stärke; die algebraische Summe der in beiden vorhandenen magnetischen Quantitäten ist gleich Null. Während man aber die durch Influenz erzeugten entgegengesetzten Elektrizitäten voneinander zu trennen vermag, indem man den betreffenden Leiter in zwei Teile zerlegt und diese voneinander entfernt, ist dies beim Magnetismus nicht möglich; zerbricht man einen Magneten in zwei Stücke, so findet man an den Stellen, die vorher miteinander in Berührung gewesen waren, zwei neue Pole von der Stärke der ursprünglichen. Da man nun dieses Verfahren anscheinend unbegrenzt fortsetzen kann, da man also einen Magneten in immer kleinere Stücke zerbrechen darf, ohne dafs man deshalb aufhört, stets neue und vollständige Magnete zu bekommen, so mufste man annehmen, in jedem Atom des Magneten seien zwei entgegengesetzte Pole vorhanden, und die Erscheinungen, die man am Magneten selbst wahrnimmt, seien lediglich das Ergebnis des Zusammenwirkens sämtlicher in den Atomen bestehenden Pole. Man ging sogar noch einen Schritt weiter. Auf Grund von Überlegungen, denen eine hohe Wahrscheinlichkeit innewohnt, folgerte man, die magnetische Polarität sei im Eisen (und ebenso in den übrigen magnetischen Körpern, welche, wenn auch in geringerem

Grade, die gleiche Eigenschaft besitzen) bereits vorhanden gewesen, bevor man dasselbe in einen Magneten verwandelt hatte. Den Vorgang der Magnetisierung hat man sich hiernach folgendermaſsen zu denken.

Bringt man eine Eisenstange in ein Magnetfeld, so wird sie durch Influenz magnetisiert. Auſserlich gleicht also der Vorgang ganz der Elektrisierung eines Dielektrikums im elektrischen Felde. Während aber in diesem letzteren Falle die Erklärung des Vorganges in der Polarisation, d. h. in einer innerhalb jedes kleinsten Teilchens stattfindenden Trennung der beiden elektrischen Zustände, gesucht werden muſs, erfahren im Eisen die magnetischen Atome lediglich eine Orientierung, indem sie sich mit ihren Achsen in die Richtung des Feldes zu stellen streben. Erlischt das Feld oder entzieht man das Eisen dem magnetischen Einfluſs, so werden die Atome durch die Molekularkräfte wieder in ihre Anfangslagen zurückgeführt, deren Unregelmäſsigkeit das Vorhandensein der Polarität verdeckt. Ist jedoch das Eisen nicht völlig rein, also kein weiches Eisen, so ist auch die Rückkehr in den Anfangszustand keine vollständige und es entsteht ein künstlicher Magnet.

Wie wir in der Folge sehen werden, erhält man die intensivsten Magnetfelder mit Hilfe elektrischer Ströme; zu diesen greift man darum, wenn man kräftige Magnete herstellen will.

Als Ursache der magnetischen Erscheinungen galten lange Zeit hindurch die magnetischen Fluida; früher noch als die Schwesterhypothese der elektrischen Fluida verschwand diejenige der magnetischen aus der Wissenschaft, als man die magnetische Wirkung der elektrischen Ströme entdeckte und insbesondere als der berühmte Physiker Ampère zeigte, daſs sich sämtliche Wirkungen der Magnete auch mit Hilfe zweckmäſsig gestalteter elektrischer Ströme erhalten lassen; lag es doch nunmehr nahe, die magnetischen Erscheinungen auch in solchen Fällen auf elektrische Ströme zurückzuführen, in welchen diese letzteren sich nicht sinnenfällig nachweisen lassen.

16. Das magnetische Feld elektrischer Ströme.

Nähert man der Nadel eines Kompasses in geeigneter Weise einen Leiter, in welchem ein elektrischer Strom zirkuliert, so wird dieselbe aus ihrer Ruhelage abgelenkt. Diese einfache Tatsache,

deren Entdeckung dem dänischen Physiker Örstedt zugeschrieben wird, die aber der Italiener Romagnosi bereits vorher bemerkt hatte, bezeichnet gleichfalls eine Epoche in der Entwickelung unseres Wissens von der Elektrizität, denn von ihr aus gelangte man mit der Zeit zur Kenntnis einer Reihe weiterer wissenschaftlicher Tatsachen und praktischer Anwendungen von hervorragender Bedeutung. Eine wichtige Anwendung fand die neuentdeckte Tatsache alsbald in den Galvanometern, welche das Vorhandensein elektrischer Ströme zu konstatieren und deren Stärke zu messen gestatten. Ein Galvanometer besteht im allgemeinen aus einem Leitungsdrahte, durch welchen der Strom fliefst, und aus einem oder mehreren Magneten; der Leitungsdraht oder gewöhnlicher der Magnet bezw. das Magnetsystem ist beweglich und ändert unter dem Einflusse des Stromes seine Lage. Man konstruiert heute aufserordentlich empfindliche Galvanometer, welche überaus schwache Ströme anzuzeigen vermögen.

Die Ablenkung der Nadel beweist das Vorhandensein magnetischer Kräfte; der von dem Strome durchflossene Leiter erzeugt also in seiner Umgebung ein Magnetfeld. Wir wollen versuchen, uns von diesem Felde eine klare Vorstellung zu verschaffen; den Weg dazu wird uns die Darstellung der Kraftlinien für gewisse Fälle bieten.

Ein bekannter Versuch, der sich leicht ausführen läfst und annähernd die Gestalt jener Linien vor Augen führt, ist der folgende: Man bestreut eine ebene Platte, etwa eine Glasscheibe, die sich in einem Magnetfelde befindet, möglichst gleichmäfsig mit Eisenfeilicht, während man derselben gleichzeitig leichte Erschütterungen erteilt. Die Eisenspäne werden durch Influenz magnetisch, an den einander berührenden Stellen derselben bilden sich ungleichnamige Pole aus, und da sie durch die Erschütterungen vorübergehend von der Reibung an der Platte befreit sind, so vermögen sie ihrer gegenseitigen Anziehung zu folgen und ordnen sich zu langen Fäden, welche die Richtung der Kraftlinien kennzeichnen. Natürlich können auf diese Weise nur die in der Ebene der Platte liegenden Kraftlinien sichtbar werden; sind die Kraftlinien irgendwo schräg zur Platte gerichtet, so erhalten die Eisenteilchen ihren Magnetismus und ihre Orientierung nicht durch die ganze magnetische Kraft, sondern nur durch die parallel zur Platte gerichtete Komponente derselben. Dies mufs man im Auge behalten, um bei der Interpretation der Erscheinungen nicht in Irrtum zu verfallen.

Das geschilderte Verfahren zur Sichtbarmachung der Kraftlinien eines Magnetfeldes läfst sich selbstverständlich auch anwenden, wenn dieses Feld von einem elektrischen Strome herrührt; nur mufs derselbe eine gewisse Intensität besitzen. Als möglichst einfachen Fall betrachten wir einen geradlinigen dünnen, von einem Strome durchflossenen Leiter, dessen Länge wir als unbegrenzt voraussetzen wollen. Schon indem wir die Wirkung desselben auf eine Magnetnadel beobachten, können wir leicht feststellen, dafs die magnetische Kraft senkrecht zum Leiter gerichtet ist; führen wir also den Draht AB, welcher von dem elektrischen Strome durchflossen wird, senkrecht durch eine wagerechte Platte MN (Fig. 13), so müssen die durch die einzelnen Punkte derselben gehenden Kraftlinien gänzlich innerhalb der Platte liegen. Der Versuch zeigt in der Tat, dafs die Feilspäne sich in Kreisen an-

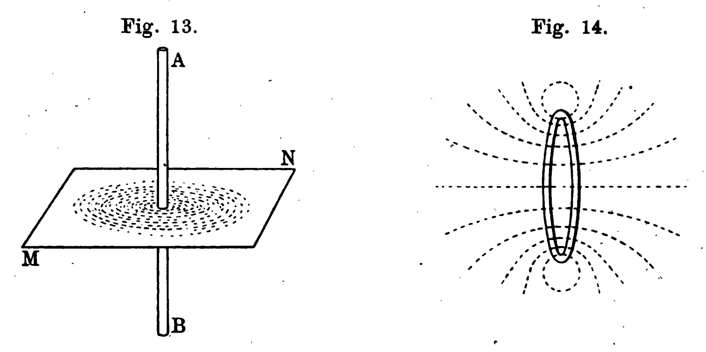


Fig. 13. Fig. 14.

ordnen, welche die Durchtrittsstelle des Drahtes durch die Platte zum Mittelpunkt haben. Die Kraftlinien in dem durch einen geradlinigen Strom erzeugten Magnetfelde sind also Kreise, deren Ebenen senkrecht zur Richtung des Stromes und deren Mittelpunkte innerhalb dieses letzteren liegen. Diese Kraftlinien sind demnach in sich geschlossen; mithin müfste sich in einem derartigen Felde ein einzelner Magnetpol, wenn man ihn von seinem entgegengesetzten Pole trennen könnte, endlos und mit wachsender Geschwindigkeit um den Draht herum bewegen; praktisch läfst sich diese Rotation freilich nicht verwirklichen, weil ein Magnetpol immer nur zusammen mit einem Pole von entgegengesetzter Art vorkommt, so dafs die algebraische Summe der Intensitäten beider Pole gleich Null ist.

Nach der Art ihres Ursprunges pflegt man die von einem elektrischen Strome ausgehende Magnetkraft als elektromagnetische

Kraft zu bezeichnen. Ihre Stärke nimmt mit wachsender Entfernung von dem geradlinigen Leiter ab und sinkt auf die Hälfte, auf ein Drittel u. s. w., wenn die Entfernung sich verdoppelt, verdreifacht u. s. w. Das heifst also, sie ändert sich im umgekehrten Verhältnis der Entfernung. Wie vorauszusehen, ist sie ferner der Stromstärke proportional.

Ist der Draht, welcher den elektrischen Strom leitet, nicht geradlinig, so sind die Kraftlinien im allgemeinen keine Kreise mehr, obschon sie immer noch den Draht umschlingen. Bildet der Draht z. B. einen kreisförmigen Ring (Fig. 14 a. v. S.), so sind die Kraftlinien zwar noch geschlossene Linien, die durch die von dem Ring begrenzte Fläche hindurchgehen und sich zu diesem verhalten wie ein Glied einer Kette zum nächstfolgenden, aber ihre Gestalt ist nicht kreisförmig.

Ein Magnetfeld kann somit durch elektrische Ströme ebenso wie durch Magnete erzeugt werden; es entsteht daher die Frage, ob und wie ein vorhandenes Magnetfeld, welches auf die eine von diesen Arten entstanden ist, auch auf die andere Art hervorgebracht werden könnte. Die Antwort hierauf ergibt sich mit Leichtigkeit, wenn wir zunächst ein magnetisches Element und einen geschlossenen Stromkreis von unendlich kleiner Fläche ins Auge fassen.

Wie bereits gesagt, verhält sich jedes Atom des Eisens wie ein wirklicher Magnet mit zwei gleichstarken Polen von entgegengesetztem Vorzeichen. Ein derartiges, aus zwei einander unendlich nahen magnetischen Massen von gleichem Betrage und entgegengesetztem Vorzeichen bestehendes System pflegt man als ein magnetisches Element zu bezeichnen. Dasselbe läfst sich als ein unendlich kleiner Magnet betrachten.

Wir wollen uns nun einen zu einer geschlossenen Linie gebogenen Draht denken; derselbe soll eine unendlich kleine Fläche umschliefsen, deren Mittelpunkt mit demjenigen des magnetischen Elements zusammenfallen und die zur Achse des Elements, d. h. zu der die beiden Pole desselben verbindenden Geraden, senkrecht gerichtet sein soll. Wir brauchen nur anzunehmen, dafs in diesem Draht ein elektrischer Strom zirkuliere, so ist bei passender Richtung und Stärke dieses Stromes das von demselben erzeugte Magnetfeld demjenigen des magnetischen Elementes völlig gleichwertig; bei Umkehrung des Stromes würden sein Feld und dasjenige des unendlich kleinen Magneten einander gegenseitig vernichten.

Das einer gegebenen Anordnung von Magneten gleichwertige Stromsystem oder die einem gegebenen Stromsystem gleichwertige Anordnung von Magneten läſst sich hiernach folgendermaſsen auffinden.

Denken wir uns einen geschlossenen Leiter, in welchem ein Strom zirkuliert und eine von diesem Leiter umgrenzte Fläche, deren Gestalt im übrigen eine ganz beliebige sein kann. Auf dieser Fläche wollen wir uns zwei Systeme von Linien gezogen denken; die benachbarten Linien eines jeden Systemes sollen einander unendlich nahe sein, ohne sich jedoch gegenseitig zu schneiden, während die Linien des einen Systems diejenigen des anderen durchschneiden sollen. Die ganze Fläche ist auf diese Weise in eine unendlich groſse Anzahl unendlich kleiner Teile zerlegt. Wir können uns nun vorstellen, jede dieser kleinen Flächen werde von einem Strome umflossen, dessen Stärke und Richtung mit derjenigen des tatsächlich in dem Leiter vorhandenen Stromes übereinstimmen möge. Jede Seite der mit Hilfe der erwähnten Linien abgegrenzten Flächenstücke wird, da sie zu zwei einander benachbarten Flächenstücken gehört, von zwei gleichstarken, aber entgegengesetzt gerichteten Strömen durchflossen, die einander gegenseitig aufheben. Da aber anderseits jeder von den Strömen, die wir im Umfange eines jeden der kleinen Flächenstücke angenommen haben, einem magnetischen Element gleichwertig ist, so übt der tatsächlich vorhandene Strom die gleiche Wirkung aus wie ein System magnetischer Elemente, die zusammen eine magnetische Schale bilden, d. h. eine Fläche, deren beide Seiten in entgegengesetztem Sinne magnetisiert sind.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daſs eine Spule, d. h. ein in mehrfach übereinander gelagerten Schraubenwindungen auf einen Zylinder aufgewickelter Draht, einer Reihe magnetischer Schalen entspricht, die alle nach der gleichen Seite gerichtet sind; und diese Reihe übt wiederum die gleiche Wirkung aus wie ein Magnet, dessen Achse mit derjenigen der Spule zusammenfällt.

Bringt man in die Spule ein Stück Eisen, so ordnen sich dessen Teilchen unter der Einwirkung des durch den Strom erzeugten Magnetfeldes und fügen zu diesem ihr eigenes Magnetfeld hinzu. Auf diese Weise entsteht der Elektromagnet, jenes überaus nützliche Instrument, das so vielseitige Anwendungen gefunden hat. So kann man mit Hilfe eines Elektromagneten fern vom eigenen Standort eine Kraft, nämlich die magnetische An-

ziehung auf eine Eisenmasse, plötzlich zum Entstehen und ebenso unvermittelt wieder zum Verschwinden bringen, indem man einen aus einer galvanischen Batterie und der Drahtspule des Elektromagneten gebildeten Stromkreis schliefst oder unterbricht; es bedarf kaum der Hervorhebung, von welchem Nutzen eine derartige Vorrichtung in den verschiedensten Fällen sein mufs.

Die Tatsache, dafs Ströme und Magnete in der gleichen Weise wirken, macht auch jede besondere Hypothese betreffs des Ursprunges der magnetischen Erscheinungen überflüssig. Man kann annehmen, die magnetische Polarität der Eisenatome rühre einfach davon her, dafs diese Atome von elektrischen Strömen umkreist seien, von welchen jeder sein Magnetfeld hervorbringt. Diese von Ampère aufgestellte Hypothese hat nicht weniger Wahrscheinlichkeit für sich als die Annahme magnetischer Pole in den Atomen, während sie anderseits den Vorzug besitzt, zwei verschiedene Klassen von Erscheinungen auf eine gemeinsame Ursache zurückzuführen.

Sind ein elektrischer Strom und ein System von Magneten einander insofern gleichwertig, als sie das gleiche Magnetfeld hervorbringen, so zeigt sich diese Gleichwertigkeit anderseits auch darin, dafs sie beide von seiten eines irgendwie erzeugten Magnetfeldes die gleichen Einwirkungen erfahren. Werden also auf einen Magneten von einem anderen Magneten oder von einem System von Strömen gewisse Kräfte ausgeübt, so äufsern sich die gleichen Kräfte auch, wenn an Stelle des ersten Magneten eine Spule oder ein anderer, dem Magneten äquivalenter Stromkreis tritt. Auch zwischen zwei von elektrischen Strömen durchflossenen Leitersystemen müssen also magnetische Kräfte bestehen, denn jeder von ihnen läfst sich ja einfach als Ursache eines Magnetfeldes betrachten und der andere mufs dann von seiten dieses Magnetfeldes die gleichen Kräfte erfahren wie das mit ihm selbst äquivalente Magnetfeld. Man pflegt jedoch die in diesem speziellen Falle auftretenden Kräfte als elektrodynamische zu bezeichnen, wie man anderseits elektromagnetische Kräfte diejenigen nennt, die zwischen einem stromdurchflossenen Leiter und einem Magneten wirksam sind. Den einfachsten Fall elektrodynamischer Kräfte bieten diejenigen zwischen zwei unbegrenzten geradlinigen Strömen. Zwei gerade und parallele, von elektrischen Strömen durchflossene Drähte z. B. ziehen einander an oder stofsen einander ab, je nachdem die Ströme in beiden die gleiche oder entgegengesetzte

Richtung haben; in beiden Fällen ist übrigens die wechselseitige Kraft proportional der Intensität der beiden Ströme und umgekehrt proportional dem Abstande zwischen denselben.

Auch für kompliziertere Formen stromdurchflossener Leiter hat man die elektrodynamischen Kräfte berechnet. Es gelingt dies mit Hilfe der folgenden von Ampère herrührenden Methode. Man denkt sich die Leiter in unendlich kleine Elemente zerlegt und schreibt die gesuchten Kräfte den Wechselwirkungen zwischen den Elementen der beiden Leiter zu. Allerdings lassen sich für diese Elementarwirkung verschiedene Formeln aufstellen, doch führen dieselben für die tatsächlich vorkommenden Fälle, nämlich für die Wechselwirkung zwischen zwei Stromkreisen, von denen wenigstens einer geschlossen ist, zu den gleichen Schlufsfolgerungen. Die von Ampère selbst aufgestellte Formel bietet einige besondere Vorteile, doch können wir hierauf nicht näher eingehen, ohne die Grenzen einer gemeinverständlichen Behandlungsweise zu überschreiten.

17. Wechselseitigkeit der elektrischen und magnetischen Erscheinungen.

Die moderne Theorie führt zu der Schlufsfolgerung, dafs es möglich sein mufs, die magnetischen Wirkungen galvanischer Ströme mit Hilfe von Konvektions- oder Überführungsströmen getreu nachzuahmen.

Man denke sich z. B. eine Anzahl positiv geladener Teilchen, die sich mit konstanter grofser Geschwindigkeit in gerader Linie bewegen und einander in regelmäfsigen Abständen folgen. Dieser Transport elektrischer Teilchen mufs ein analoges Magnetfeld erzeugen wie ein geradliniger Strom, der in der gleichen Bahn fliefst wie die elektrisierten Teilchen und dessen Intensität der von den geladenen Teilchen in der Zeiteinheit durch einen beliebigen Punkt ihrer Bahn transportierten Elektrizitätsmenge gleich ist. Je kleiner der Zeitabstand zwischen dem Durchgange zweier aufeinander folgender Teilchen durch einen und denselben Punkt, desto näher wird auch das durch die Konvektion erzeugte Magnetfeld mit dem durch einen wirklichen Strom hervorgebrachten übereinstimmen. Diese Auffassung wird anscheinend durch gewisse Versuche bestätigt; die aus derselben sich ergebenden Folgerungen wurden stets mit den Tatsachen in Übereinstimmung befunden.

Stellen wir uns nunmehr eine magnetische Konvektion vor, d. h. eine Reihe von gleichnamigen Magnetpolen, die sich genau ebenso bewegen wie im vorigen Falle die geladenen Teilchen. Diese magnetische Konvektion mufs ein elektrisches Feld erzeugen, welches dem durch die elektrische Konvektion erzeugten Magnetfelde ähnlich ist. Bewegen sich die Magnetpole in gerader Linie, so müssen hiernach die Kraftlinien dieses elektrischen Feldes Kreise sein, deren Mittelpunkte auf der Geraden liegen und deren Ebenen zu derselben senkrecht stehen.

Deutlicher wird die Wechselseitigkeit zwischen den beiden Klassen von Erscheinungen bei der Betrachtung des veränderlichen Zustandes derselben zutage treten. A. Righi.

Viertes Kapitel.

Der veränderliche Zustand des Stromes.

---

18. Die Erscheinungen des veränderlichen Zustandes.

Im vorigen Kapitel haben wir aufser dem Magnetfelde hauptsächlich zwei andere Wirkungen des konstanten Stromes kennen gelernt: die Elektrolyse und die Wärmeerzeugung. Alle diese Wirkungen werden natürlich auch von solchen Strömen ausgeübt, deren Stärke irgendwie veränderlich ist, nur ist in diesem Falle auch das Magnetfeld nicht mehr konstant, sondern veränderlich und für die beiden anderen Erscheinungen gelten nicht mehr die Gesetze, die im Falle konstanter Ströme für dieselben bestehen. Auch das Ohmsche Gesetz verliert für veränderliche Ströme im allgemeinen seine Gültigkeit.

Für den Augenblick wollen wir das Studium des veränderlichen Magnetfeldes und der mit demselben verknüpften Erscheinungen beiseite lassen und uns dafür näher mit den Vorgängen beschäftigen, die innerhalb der von veränderlichen Strömen durchflossenen Leiter ihren Sitz haben.

Die Entladung eines geladenen Leiters oder eines Kondensators bietet ein Beispiel eines veränderlichen Stromes; einem anderen Beispiel begegnen wir in dem Zustande, wie er beim Beginn eines galvanischen Stromes unmittelbar nach der Schliefsung des Stromkreises oder bei der Unterbrechung desselben auftritt.

In allen diesen Fällen ist der veränderliche Zustand zumeist nur von ungemein kurzer Dauer. Beim galvanischen Strome z. B. kann sich die veränderliche Periode nur dann über einige Sekunden erstrecken, wenn ein langes unterseeisches Kabel dem Stromkreis angehört; soll der Entladungsstrom eines Kondensators überhaupt eine merkliche Dauer erreichen, so mufs die Verbindung zwischen den Belegungen, welche die Entladung vermittelt, aus einem Körper von sehr grofsem Widerstande bestehen. Die Elektrolyse oder die Erwärmung eines Leiters durch den Entladungsstrom eines Kondensators läfst sich jedoch auch bei überaus kurzer Dauer desselben sehr wohl nachweisen. Die Erwärmung des Leiters, welcher die Belegungen eines Kondensators miteinander verbindet, kann sogar dermafsen stark sein, dafs der Leiter zum Schmelzen gebracht wird oder sich verflüchtigt. Der Blitz ist ja nichts anderes als ein mächtiger Entladungsvorgang in einem Kondensator, dessen Belegungen einerseits durch die mit Elektrizität geladenen Wolken, anderseits durch die Erdoberfläche gebildet werden; die gewaltigen Wärmeeffekte, welche er, wie bekannt, häufig hervorbringt, lassen sich in kleinem Mafsstabe mit Hilfe unserer Kondensatoren getreu nachahmen.

Die Jouleschen Gesetze sind auf die durch Entladungen entwickelte Wärme nicht ohne weiteres anwendbar. Die erzeugte Wärmemenge stellt einfach das Aquivalent der potentiellen elektrischen Energie dar; für einen gegebenen Kondensator ist sie proportional dem Quadrat der Ladung jeder der beiden Armaturen.

Ein Beispiel eines veränderlichen Stromes, dessen Betrachtung von Nutzen ist, bietet die Ladung eines Kondensators durch eine galvanische Batterie. Sobald die Pole der letzteren mit je einer der Belegungen des Kondensators in Verbindung gesetzt sind, tritt ein elektrischer Strom auf, durch welchen die beiden Belegungen von der Batterie aus entgegengesetzte Ladungen erhalten. Dieser Strom, der sich vermittelst eines Galvanometers nachweisen läfst, ist je nach der Kapazität des Kondensators von mehr oder minder langer Dauer; er erreicht ein Ende, sobald die Potentialdifferenz zwischen den Belegungen gleich der elektromotorischen Kraft der Batterie geworden ist. Solange in dem Stromkreise dieser letzteren der galvanische Strom andauert, besteht auch in dem Dielektrikum, welches die Belegungen des Kondensators voneinander trennt, ein Strom, nämlich der dielektrische oder Verschiebungsstrom, der den Ather in einen Zwangszustand versetzt.

Entfernt man die Batterie und stellt zwischen den Belegungen des Kondensators eine metallische Verbindung her, so kehrt der Äther wieder in den Anfangszustand zurück, und es entsteht ein Strom von entgegengesetzter Richtung wie der erste. Dieses Beispiel liefert einen passenden Beleg dafür, auf welche Weise man sich elektrische Ströme immer als geschlossen zu denken hat; wo der Zusammenhang zwischen den Leitern unterbrochen ist, wird derselbe durch die elektrische Verschiebung in den Dielektricis hergestellt.

19. Der elektrische Funke und die Entladung in den Gasen.

Unter den Wirkungen der Entladungen sind diejenigen, welche den gewaltsamen Durchgang der Entladung durch schlecht leitende Körper begleiten, von besonderer Wichtigkeit. Der betreffende Körper wird auch in diesem Falle stark erhitzt; gleichzeitig mit ihm erhitzen sich jedoch auch die Elektroden, d. h. die beiden Leiter, zwischen welche der schlecht leitende Körper eingeschaltet ist, und die Temperaturerhöhung derselben ist von einer mechanischen Zerstäubung begleitet. Mit dem Strome einer starken galvanischen Batterie lassen sich gleichfalls derartige Wirkungen erhalten, wenn man für passende Wahl der Elektroden Sorge trägt. Am besten eignet sich dazu die Kohle; man benutzt zwei Kohlestäbchen, die man zunächst, um den Strom einzuleiten, an ihren Enden miteinander in Berührung bringt, worauf man sie ein wenig voneinander entfernt. Infolge der Zerstäubung oder Lostrennung fester Teilchen, die bei der Kohle besonders leicht stattfindet und von einer starken Wärmeentwickelung begleitet ist, tritt hierbei keine Unterbrechung des Stromes ein, sondern der Strom überschreitet den Zwischenraum zwischen den Elektroden; die Brücke bilden die Kohleteilchen, welche diesen Zwischenraum erfüllen und von einer Elektrode zur anderen fortgeführt werden, sowie die umgebenden aufserordentlich stark erhitzten Gase. Der ganze Vorgang ist von einer ungemein lebhaften Lichtentwickelung begleitet, die in den elektrischen Bogenlampen praktisch verwertet wird.

Eine ähnliche Lichterscheinung wird auch durch die Entladungen hervorgerufen; aber dieselbe dauert nur so lange wie die Entladung selbst, also ungemein kurze Zeit. Diese Erscheinung heifst der elektrische Funke.

Die Untersuchung des Lichtes, welches von dem Funken ausstrahlt, ergibt mit Sicherheit, dafs derselbe aus glühenden Gasen

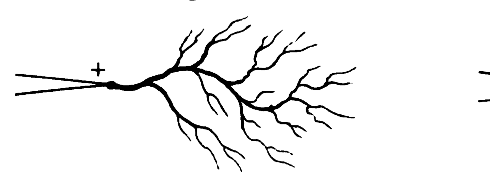
gebildet ist, die teils aus dem Material der Elektroden, teils aus dem umgebenden Dielektrikum stammen. Das Spektrum dieses Lichtes, d. h. das durch ein Prisma entworfene verbreiterte Bild, welches die verschiedenen Arten von Strahlen, aus denen sich das Licht zusammensetzt, in einer Reihe nebeneinander zeigt, besteht nämlich in diesem Falle aus den für die erwähnten Stoffe, das Dielektrikum und das Material der Elektroden, charakteristischen Linien.

Eine Lichtentwickelung erhält man übrigens nicht allein mit Hilfe der Entladung eines Kondensators durch ein Dielektrikum oder einen schlecht leitenden Körper. Ist ein von Luft oder einem anderen Dielektrikum eingehüllter Leiter auf ein hinreichend hohes Potential geladen und überschreitet die elektrische Dichte an irgend einer Stelle seiner Oberfläche einen gewissen kritischen Betrag, so vollzieht sich von dem Leiter aus ein Übergang von Elektrizität an das Dielektrikum unter gleichzeitiger Lichtentwickelung, die mit derjenigen des elektrischen Funkens eine mehr oder minder grofse Ähnlichkeit besitzt. Finden sich an dem Leiter scharfe Kanten oder Spitzen, so tritt die Lichterscheinung natürlich an diesen auf und sie erfordert in diesem Falle auch kein besonders hohes Potential. Man beobachtet die geschilderte Erscheinung z. B., wenn man im Dunkeln die Spitzen der Kämme einer tätigen Elektrisiermaschine betrachtet.

Je nachdem der Leiter mit positiver oder mit negativer Elektrizität geladen ist, sind Gestalt und Farbe der Lichterscheinung



Fig. 15. Fig. 16.



im allgemeinen verschieden. In der Luft bildet sich über einer positiv geladenen Spitze eine Art von rotem oder rosafarbenem Büschel mit langen gewundenen Zweigen; über einer negativen Spitze dagegen beobachtet man ein aus unzähligen Zweigen zusammengesetztes weifslichviolettes Licht von viel geringerer Ausdehnung. Die Erscheinung über der positiven Spitze (Fig. 15) heifst das Büschellicht, die andere der Stern oder das Glimmlicht (Fig. 16).

Auch der eigentliche Funke erfordert zu seinem Entstehen ein bestimmtes Potential oder, genauer gesagt, eine bestimmte Differenz zwischen den Werten des Potentials an den beiden Elektroden; denn nicht der absolute Wert der beiden Potentiale, sondern nur die Differenz zwischen denselben kommt in Betracht, und erst wenn diese einen gewissen Betrag erreicht hat, tritt unvermittelt der Funke auf und entlädt sich der Kondensator, dessen Belegungen mit den Elektroden in Verbindung stehen.

Diese zur Entstehung des Funkens nötige Potentialdifferenz oder, wie man kürzer sagt, das Entladungspotential wächst natürlich mit der Dicke der Schicht des Dielektrikums oder mit dem Abstande zwischen den Elektroden, aber nicht im gleichen Verhältnis wie dieser Abstand. Aufserdem ist dasselbe noch von einer Anzahl anderer Faktoren abhängig: von der Natur, der Gröfse, Gestalt und Temperatur der Elektroden; ferner, wenn die Elektroden irgendwie voneinander verschieden sind, von der Richtung des Entladungsstromes; endlich von der Natur, dem Druck, der Temperatur des Dielektrikums u. s. w. Die Lichtstrahlen und andere in neuerer Zeit entdeckte Strahlen, wie die Röntgenstrahlen und die Becquerelstrahlen, üben, vielleicht infolge von Veränderungen, die sie in dem an den Elektroden haftenden oder dieselben einhüllenden Gase hervorrufen, einen Einflufs auf das Entladungspotential aus; in gleicher Weise kann dasselbe auch durch andere in der Nähe überspringende Funken oder durch Flammen beeinflufst werden. Wir werden später noch Gelegenheit haben, hierauf zurückzukommen.

Im Falle eines gasförmigen Dielektrikums beansprucht einer von den Faktoren, von welchen das Entladungspotential abhängt, eine gesonderte Betrachtung: es ist dies der Druck des Gases, in welchem die Entladung vor sich geht. Wird dieser Druck vermindert, so sinkt das Entladungspotential, und zwar häufig sehr stark; ist jedoch ein gewisser Wert des Druckes, der einen halben Millimeter Quecksilber zu betragen pflegt, erreicht, so beginnt bei weiterer Verdünnung des Gases das Entladungspotential wiederum, und zwar sehr rasch, anzuwachsen. Schliefslich steigt dasselbe bis zu einem Betrage, der denjenigen bei gewöhnlichem Drucke noch übertrifft; bei den äufsersten Verdünnungen, die sich mit den modernen Luftpumpen erreichen lassen, wird die Entladung schon auf ziemlich geringe Abstände zwischen den Elektroden nahezu oder vollständig unmöglich. Abgesehen von ihrem Einflufs auf

das Entladungspotential bewirkt die Verdünnung des Gases auch in dem Aussehen der leuchtenden Entladung bedeutende Veränderungen und führt zu völlig neuen und ungemein interessanten Erscheinungen.

Denken wir uns in einen Glasbehälter zwei mit den Belegungen eines Kondensators oder mit den Polen einer Elektrisiermaschine verbundene Elektroden hineinragen und beobachten wir die Veränderungen, welche das Licht der Entladung bei fortschreitender Verdünnung des Gases in dem Behälter erleidet. Zuerst wird das Geräusch des Funkens schwächer und derselbe verliert an Glanz und wird dicker; hierauf trennt sich das Licht in zwei Teile, von welchen der dem positiven Pole oder der Anode zunächst gelegene eine gröfsere Ausdehnung zu besitzen pflegt als der dem negativen Pole oder der Kathode benachbarte. Auch die Farbe beider Teile ist etwas verschieden; das positive Licht ist rot oder rosafarben, das negative violett. Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Zonen trägt, obschon er keineswegs immer vollständig lichtlos ist, den Namen dunkler Raum.

Ist der Abstand zwischen den Elektroden so grofs, dafs sich anfangs auf denselben der Büschel und das Glimmlicht gesondert ausbilden konnten, so werden durch die Luftverdünnung zunächst die beiden Lichterscheinungen immer verschwommener; schliefslich aber wird die Erscheinung ganz die gleiche, wie wenn man mit dem wirklichen Funken begonnen hätte.

Bei fortschreitender Verdünnung werden die beiden Lichterscheinungen schwächer und gewinnen an Breite; bald aber zieht sich das positive Licht gegen die Anode zusammen und verliert mit zunehmender Verdünnung immer mehr an Ausdehnung, während der dunkle Raum und das negative Glimmlicht sich so weit ausbreiten, dafs das positive Licht unter Umständen vollständig verschwindet. Unterdessen hat das negative oder Glimmlicht sich nicht allein immer weiter ausgebreitet, sondern es hat sich dabei auch von der Kathode losgelöst, so dafs sich nunmehr zwischen dieser und dem negativen Licht ein neuer relativ dunkler Raum gebildet hat.

Bei hohen Verdünnungsgraden erfüllt dieser neue dunkle Raum nach und nach den ganzen Behälter, der nunmehr fast ganz lichtlos ist. Mit diesem Momente aber beginnen völlig neue Erscheinungen, deren ganzer Charakter es nahe legt, dieselben auf das Vorhandensein unsichtbarer Strahlen zurückzuführen, die ihren

Ausgangspunkt auf der Kathode haben und senkrecht zur Oberfläche derselben gerichtet sind. Diese hypothetischen Strahlen nennt man Kathodenstrahlen.

So werden z. B. bei diesen hohen Verdünnungsgraden die Wände des Glasrohres, in welchem die Entladung stattfindet, an allen Stellen, die von den vermuteten Kathodenstrahlen getroffen werden können, leuchtend. Die geradlinige Ausbreitung dieser letzteren läfst sich auf einfache Weise zeigen, indem man zwischen die Kathode und die Wandung des Rohres einen Körper bringt, der die Strahlen aufhält, etwa, wie in dem bekannten Apparat von Crookes (Fig. 17), ein Kreuz *b* aus Aluminium;

Fig. 17.



auf der der Kathode gegenüberstehenden Wand des Behälters erscheint ein scharf begrenzter Schatten des Kreuzes.

Die Natur der Kathodenstrahlen blieb lange unaufgeklärt. Nach einer Auffassung sollte hier eine wirkliche Strahlung voliegen, die sich im Äther ausbreitet; zu Gunsten dieser Auffassung wurden verschiedene Tatsachen angeführt. Von anderer Seite dagegen wurde mit besseren Gründen die Ansicht vertreten, von der Kathode werde eine ungeheure Anzahl negativ elektrisierter Teilchen mit grofser Geschwindigkeit fortgeschleudert. Nach der von Crookes aufgestellten Hypothese der sogenannten strahlenden Materie wären die von der Kathode fortgeschleuderten Teilchen nichts anderes als die Moleküle des Gases selbst, von denen auch bei so hohen Verdünnungsgraden noch eine grofse Anzahl in dem Behälter vorhanden ist. Heute dagegen hat zwar die Auffassung, dafs von der Kathode materielle Teilchen aus-

gesandt werden, allgemeine Annahme gefunden, aber gewichtige Gründe sprechen für die Vermutung, dafs diese Teilchen nicht die Moleküle des Gases sind, sondern viel kleinere Partikeln. Mit diesen, die den Namen Elektronen erhalten haben, werden wir uns an späterer Stelle noch beschäftigen.

Die Kathodenstrahlen rufen ferner anderweitige ungemein wichtige Erscheinungen hervor. Jeder Körper, auf den die Kathodenstrahlen treffen, wird zur Quelle einer neuen Art von Strahlen, der von Röntgen entdeckten sogenannten X-Strahlen, welche sich durch ihre photographische Wirksamkeit, durch ihre Fähigkeit, die Phosphoreszenz zu erregen, und vor allem durch die merkwürdige Eigenschaft auszeichnen, dafs sie, wenngleich unter mehr oder minder starker Absorption, alle Körper, selbst die für das Licht undurchlässigsten, zu durchdringen vermögen. So interessant dieser Gegenstand auch ist, so müssen wir uns doch ein näheres Eingehen auf denselben versagen.

20. Induktion.

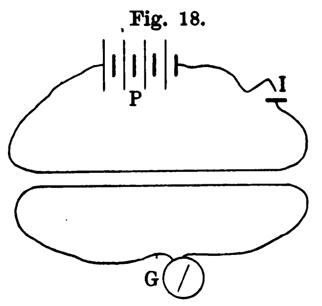
Wie wir gesehen haben, erzeugt ein konstanter Strom in dem ihn umgebenden Raume ein konstantes Magnetfeld und ein Strom von veränderlicher Stärke bringt ein veränderliches Magnetfeld hervor. Während aber ein Leiter, der nicht aus magnetischem Material besteht — gleichviel ob er mit Elektrizität geladen ist oder einem geschlossenen Kreise angehört oder ob keines von beiden der Fall ist — in einem Magnetfelde von konstanter Stärke keinerlei Einwirkung erfährt, ruft jede Veränderung des Magnetfeldes in dem Leiter gewisse Erscheinungen hervor; mit diesen haben wir uns nunmehr zu beschäftigen. Insbesondere tritt in einem geschlossenen Leiter, der sich innerhalb eines veränderlichen Magnetfeldes befindet, im allgemeinen ein elektrischer Strom auf, der so lange andauert, wie in dem Felde in der Umgebung des Leiters Veränderungen vor sich gehen. Diese Erscheinung heifst Induktion und die durch dieselbe erzeugten Ströme nennt man induzierte Ströme.

Das veränderliche Magnetfeld kann von veränderlichen elektrischen Strömen oder von veränderlichen Magneten herrühren. Auch konstante Ströme oder Magnete können ein veränderliches Magnetfeld erzeugen; es braucht dazu weiter nichts, als dafs man sie in geeigneter Weise bewegt. Auch in diesem Falle

hält der in einem unbeweglichen Stromkreise induzierte Strom so lange an wie die Änderung des Feldes, in dem er sich befindet. Endlich treten in einem geschlossenen Stromkreise innerhalb eines konstanten Magnetfeldes auch dann induzierte Ströme auf, wenn die das Feld erzeugenden Ströme oder Magnete unbeweglich sind, dafür aber der induzierte Stromkreis eine geeignete Bewegung erhält.

Die Induktionserscheinungen wurden von dem englischen Physiker Faraday entdeckt. Ein paar einfache Versuche genügen, um dieselben nachzuweisen. Man kann hierzu etwa zwei Stromkreise nach Art der in Fig. 18 dargestellten benutzen, von denen der eine eine galvanische Batterie P und einen Unterbrecher I enthält, mit dessen Hilfe man den Strom nach Belieben schliefsen oder unterbrechen kann; in den anderen Stromkreis, der beständig geschlossen bleibt, ist ein Galvanometer G eingeschaltet. Um möglichst starke Wirkungen zu erhalten, pflegt man einen Teil jedes Stromkreises in gerader Linie zu führen und die beiden geradlinigen Strecken in möglichst geringem Abstande parallel zueinander anzuordnen. Jedesmal, wenn der induzierende Stromkreis, d. i. derjenige, welcher die galvanische Batterie enthält, geschlossen wird, entsteht in dem induzierten Stromkreise ein kurz anhaltender Strom, der etwa die gleiche Dauer hat wie der veränderliche Zustand des Stromes in dem induzierenden Stromkreise. Unterbricht man diesen letzteren, so tritt in dem induzierten Stromkreise abermals ein kurz andauernder Strom auf, dessen Richtung derjenigen des bei der Schliefsung induzierten Stromes entgegengesetzt ist. Die Induktion findet bei diesem Versuche jedesmal während der veränderlichen Periode des induzierenden Stromes statt, welche naturgemäfs von einer entsprechenden veränderlichen Periode des durch den induzierenden Strom erzeugten Magnetfeldes begleitet ist.

Fig. 18.



Anstatt den induzierenden Stromkreis zu schliefsen und zu unterbrechen, kann man denselben beständig geschlossen halten, so dafs in demselben ein konstanter Strom zirkuliert; man mufs dann, indem man nach Belieben den induzierenden oder den induzierten Stromkreis bewegt, die beiden Stromkreise einander

nähern oder voneinander entfernen. Der bei der Annäherung auftretende induzierte Strom hat die gleiche Richtung wie der im vorigen Falle durch Schliefsung des induzierenden Stromkreises erhaltene; der bei der Entfernung induzierte Strom hat die entgegengesetzte Richtung. Auch diese Ströme dauern so lange wie die durch die Annäherung oder Entfernung verursachte Änderung des Magnetfeldes, welches den induzierten Stromkreis umgibt.

Die Änderung des Magnetfeldes läfst sich endlich auch durch Änderungen der Stromstärke in dem Stromkreise der Batterie erhalten, indem man den Widerstand des letzteren in entsprechender Weise verändert. Solange die Stromstärke in dem induzierenden Stromkreise zunimmt, zirkuliert in dem induzierten Stromkreise ein Strom von derselben Richtung wie der beim ersten Versuche durch Schliefsung des induzierenden Kreises erhaltene; ein Strom von entgegengesetzter Richtung wird durch jede Verminderung der Stärke des induzierenden Stromes erzeugt und hält so lange an wie diese.

Eine Regel, die den Namen „Lenzsches Gesetz" führt, gestattet, die Richtung des durch Anderung der relativen Lage beider Stromkreise induzierten Stromes zu bestimmen. Diese Regel lautet folgendermafsen: Die Richtung des induzierten Stromes ist stets eine derartige, dafs die zwischen diesem und dem induzierenden Strome auftretende elektrodynamische Kraft sich der Bewegung, welcher der induzierte Strom seine Entstehung verdankt, zu widersetzen strebt. So wissen wir z. B., dafs zwei von entgegengesetzt gerichteten Strömen durchflossene Leiter einander abstofsen. Auf Grund der vorstehenden Regel mufs dies nun stattfinden, wenn die Induktion durch gegenseitige Annäherung der beiden Stromkreise verursacht ist. Der durch gegenseitige Annäherung der beiden Stromkreise erhaltene, und mithin ebenso der durch Steigerung der Stromstärke in dem induzierenden Stromkreise oder durch Schliefsung desselben erzeugte Induktionsstrom hat also die entgegengesetzte Richtung wie der induzierende Strom. In den anderen Fällen dagegen erhält man induzierte Ströme von der gleichen Richtung wie der induzierende.

Die Lenzsche Regel ist eine unmittelbare Konsequenz des Grundsatzes der Erhaltung der Energie. Jede Änderung der gegenseitigen Lage der beiden Stromkreise erfordert nämlich eine mechanische Arbeit oder einen Verbrauch an Energie, weil die elektrodynamische Kraft zwischen den beiden Stromkreisen, welche,

wie gesagt, sich der Bewegung zu widersetzen strebt, überwunden werden mufs. Diese Energie, welche anscheinend verloren geht, ist das Äquivalent der Energie, welche anderseits in dem induzierten Stromkreise, etwa in Gestalt der durch den induzierten Strom entwickelten Wärme, zum Vorschein kommt.

Da ein von einem Strom durchflossener geschlossener Leiter hinsichtlich seiner Wirkung nach aufsen durch einen Magneten oder allgemeiner durch ein magnetisches System ersetzt werden kann, so erhält man induzierte Ströme in einem geschlossenen Stromkreise auch, sei es, indem man Magnete erzeugt oder vernichtet, sei es, indem man die Stärke derselben steigert oder verringert, sei es endlich, indem man die Lage derselben mit Bezug auf den Stromkreis in geeigneter Weise verändert. In der Tat kann man ja durch jedes dieser Mittel das Magnetfeld, innerhalb dessen sich der Stromkreis befindet, verändern und damit müssen in dem letzteren die schon bekannten induzierten Ströme auftreten.

Das Lenzsche Gesetz gilt auch für die durch Änderungen der relativen Lage eines Stromkreises und eines Magnetsystems induzierten Ströme. Dasselbe betrifft jedoch überhaupt nur die Richtung des jeweiligen Induktionsstromes; zur Bestimmung der Intensität desselben oder der elektromotorischen Kraft der Induktion, welcher man die Entstehung des induzierten Stromes zuschreiben kann, oder endlich, was das Einfachste ist, der gesamten durch den induzierten Strom in Bewegung gesetzten Elektrizitätsmenge bedarf es der Einführung eines neuen Begriffes, für den man auf Grund einer der Hydrodynamik entnommenen Analogie den Ausdruck Kraftströmung gewählt hat.

Als Kraftströmung innerhalb einer elementaren Kraftröhre — d. h. einer Röhre, die von Kraftlinien begrenzt ist, welche aus einer Niveaufläche den Umfang eines unendlich kleinen Gebietes herausschneiden — bezeichnen wir das Produkt aus dem Flächeninhalt des betreffenden Gebietes und der Gröfse der auf dasselbe wirkenden Kraft. Diese Definition läfst sich verallgemeinern, indem man anstatt des zur Kraftröhre senkrechten Querschnittes einen beliebig geneigten Schnitt durch dieselbe betrachtet. Da nämlich in einer und derselben Röhre die Strömung konstant ist, so ergibt sich der Betrag derselben, indem man die Kraft mit dem zur Röhre senkrechten Querschnitt durch dieselbe, oder, was das gleiche ist, den schrägen Querschnitt mit der senkrecht zu demselben wirkenden Komponente der vorhandenen Kraft multipliziert. Handelt es sich

um eine Fläche von beliebiger Gestalt und Ausdehnung, so ist die Kraftströmung durch dieselbe die Summe der Anteile, welche auf jedes der unendlich kleinen Gebiete entfallen, in die man sich die Fläche zerlegt denken kann.

Auf Grund dieser Definition läfst sich nunmehr das Gesetz der Induktion folgendermafsen aussprechen. Die durch Induktion in Bewegung gesetzte Elektrizitätsmenge ist proportional der Änderung der durch den induzierten Stromkreis hindurchgehenden magnetischen Kraftströmung, dividiert durch den Widerstand dieses Stromkreises. Die Intensität des induzierten Stromes ist dann proportional der Geschwindigkeit, mit welcher sich jene Kraftströmung ändert, dividiert durch den Widerstand; die elektromotorische Kraft der Induktion ist einfach proportional jener Geschwindigkeit.

Durch geeignete Wahl der Mafseinheiten liefse sich die Proportionalität in Gleichheit umwandeln.

Ein einfaches Beispiel möge dazu dienen, die Bedeutung dieser Gesetze klarzustellen. Wir wollen zu diesem Zwecke das erdmagnetische Feld betrachten, d. h. jenes allenthalben auf der Erdoberfläche und rings um dieselbe vorhandene Magnetfeld, dessen Ursache wir nicht genau kennen, das aber annähernd so beschaffen ist, wie wenn es von einem gewaltigen, im Erdinnern vorhandenen Magneten herrührte. Innerhalb eines nicht zu grofsen Raumes kann man dieses Feld als gleichförmig oder homogen betrachten, d. h. man kann annehmen, die magnetische Kraft habe allenthalben dieselbe Gröfse und die gleiche Richtung; diese Richtung ist diejenige, welche in dem betreffenden Raume eine genau in ihrem Schwerpunkt unterstützte und nach allen Richtungen frei bewegliche Magnetnadel einnehmen würde. Wir wollen uns nun einen kreisförmigen geschlossenen Leiter denken, dessen Ebene senkrecht zur Richtung des Feldes stehe. Die Kraftströmung, welche durch ihn hindurchtritt, ist das Produkt aus der Intensität der magnetischen Kraft und der Fläche des von dem Leiter eingeschlossenen Kreises. Wird dieser Leiter in der Weise bewegt, dafs seine Ebene senkrecht zu den Kraftlinien bleibt, so erfährt die durch ihn hindurchtretende Strömung keinerlei Änderung und es entsteht infolgedessen auch kein induzierter Strom. Erteilt man dagegen dem Leiter eine Rotation um einen seiner Durchmesser, so dafs nach einer Viertelsumdrehung seine Ebene aus der zu den Kraftlinien senkrechten in die zu denselben parallele Lage über gegangen ist, so ist in der neuen Lage die Komponente der Kraft

senkrecht zu der von dem Leiter eingeschlossenen Fläche und mithin die Kraftströmung durch diese Fläche gleich Null. Während dieser Rotation ist also die Kraftströmung bis auf Null gesunken und es zirkulierte unterdessen in dem Leiter ein Strom, der durch eine zu dem Verhältnis zwischen der Änderung der Kraftströmung und dem Widerstand des Leiters proportionale Elektrizitätsmenge gebildet wurde. Erteilt man dem Leiter noch eine Viertelsumdrehung, so wächst die durch seine Fläche hindurchtretende Kraftströmung wiederum von Null bis zum Anfangswert, und in dem Leiter entsteht darum abermals ein Strom. Auf den ersten Blick könnte es scheinen, als ob die Richtung dieses letzteren die entgegengesetzte sein müfste wie vorher, weil er seine Ursache in einer Zunahme anstatt in einer Abnahme der Kraftströmung hat; gleichzeitig mit diesem Wechsel ist aber auch die Lage des Leiters mit Bezug auf die Feldrichtung die entgegengesetzte geworden wie vorher, und der jetzt in dem Leiter induzierte Strom bildet also nur die Fortsetzung des früheren, d. h. er hat die gleiche Richtung wie dieser. Da ferner die Kraftströmung sich am raschesten in dem Augenblicke ändert, in welchem die Ebene des Leiters die zu den Kraftlinien parallele Lage passiert, so hat die elektromotorische Kraft des induzierten Stromes während der ersten Viertelsumdrehung bis zu einem Maximum zugenommen und ist dann während der zweiten Viertelsumdrehung bis auf Null gesunken.

Erteilt man nunmehr dem Leiter noch eine halbe Umdrehung, so entsteht ein neuer Induktionsstrom, dessen Stärke ebenfalls von Null bis zu einem Maximum ansteigt und dann wieder sinkt, dessen Richtung aber die entgegengesetzte ist wie vorher.

Bei gleichförmiger und anhaltender Rotation entsteht mithin in dem betrachteten Leiter ein Strom, den man als wellenförmig bezeichnen kann, insofern seine Intensität sich mit der Zeit in der gleichen Weise ändert wie die Geschwindigkeit der schwingenden Teilchen eines Körpers, der einen einfachen Ton von sich gibt. In beiden Fällen verläuft die Änderung nach dem gleichen Gesetze und wir dürfen daher, wie wir von der Amplitude oder Schwingungsweite und der Periode einer Schallschwingung sprechen, die gleichen Ausdrücke auch mit Bezug auf den Wellenstrom gebrauchen; die Amplitude bezeichnet dann das Maximum der Intensität des Stromes und die Periode das Zeitintervall zwischen dem Moment, in welchem die Stromstärke eine bestimmte Gröfse

und Richtung hatte, und der Wiederkehr des gleichen und gleichgerichteten Wertes derselben. Mit Bezug auf mehrere Wellenströme, welche die gleiche Periode haben und deren Intensitäten nicht gleichzeitig den Nullwert passieren, spricht man auch, ähnlich wie bei den Schallschwingungen, von einer Phasendifferenz.

Unterbricht man den bisher betrachteten Leiter an einer Stelle und verbindet die so geschaffenen Enden desselben — etwa durch Vermittelung von festen Metallstücken, welche auf den beweglichen Enden gleiten — mit einem anderen, unbeweglichen Stromkreise, so zirkuliert der Wellenstrom auch durch diesen. Denkt man sich dann noch den einfachen kreisförmigen Leiter durch einen komplizierteren Stromkreis und das erdmagnetische Feld durch ein kräftiges, künstlich mit Hilfe von Elektromagneten erzeugtes Magnetfeld ersetzt, wobei die Elektromagnete ihrerseits von einem Anteil des induzierten Stromes selbst, nachdem derselbe durch geeignete Vorrichtungen in einen gleichgerichteten Strom verwandelt ist, erregt sein können, so gelangt man von dem einfachen theoretischen Falle, den wir bis jetzt betrachtet hatten, zu den modernen Alternatoren oder Wechselstrommaschinen, die neuerdings eine so vielseitige industrielle Verwendung gefunden haben. Mit Hilfe einer besonderen Vorrichtung, eines Kommutators oder Kollektors, ist es ferner möglich, die Verbindungen zwischen dem rotierenden und dem festen Stromkreis jedesmal genau in dem Augenblick umzukehren, in welchem der Strom in dem ersteren seine Richtung wechselt; man erhält dann in dem festen Stromkreise einen Strom von konstanter Richtung und gelangt so zu den modernen dynamoelektrischen Maschinen für gleichgerichteten Strom oder Gleichstrommaschinen. Wenn die Intensitätsschwankungen, die natürlich immer noch vorhanden sind, sehr rasch aufeinander folgen, oder besser noch, wenn mehrere induzierte Ströme von verschiedener Phase, aber gleicher Richtung, sich übereinander lagern, wie dies bei den Dynamomaschinen der Fall ist, so wird die Intensität des Gesamtstromes nahezu konstant.

Mit diesen flüchtigen Andeutungen müssen wir uns an dieser Stelle begnügen. Eingehendere Informationen über das wichtige Kapitel der Dynamomaschinen findet der Leser in zahlreichen Spezialwerken.

Kehren wir nochmals zu dem Vorgange der Induktion zurück. Derselbe findet nicht nur in linearen geschlossenen Leitern statt,

sondern in jedem beliebig gestalteten Leiter können Induktionsströme auftreten; die Theorie zeigt in Übereinstimmung mit der Erfahrung, daſs innerhalb der Masse eines Leiters, der sich in einem Magnetfelde befindet, bei plötzlichen Änderungen des Feldes elektrische Ströme induziert werden. Wenn die Änderung des Feldes von sehr kurzer Dauer ist, so entstehen die Ströme nur auf der Oberfläche des Leiters, aber sie bleiben nicht auf ihren Entstehungsort beschränkt, sondern verbreiten sich von demselben aus nach und nach durch die Masse des Leiters, wobei sie immer schwächer werden, ähnlich wie auch in einem Körper, den man an seiner Oberfläche erhitzt hat, die Wärme nach und nach die ganze Masse durchdringt. Auch wenn der Leiter aus einem Draht besteht, tritt der induzierte Strom zuerst an der Oberfläche auf und erreicht erst später das Innere des Drahtes. In einem alternierenden Magnetfelde, dessen Änderungen ungemein rasch vor sich gehen, bleiben die induzierten Ströme überhaupt auf eine unmittelbar an die Oberfläche grenzende Schicht des Leiters beschränkt und diese Schicht ist um so dünner, je gröſser die Leitfähigkeit des Körpers und je gröſser die Wechselzahl des Stromes, d. h. je rascher dieser seine Stärke und Richtung wechselt. Ganz dasselbe gilt auch jedesmal, wenn ein Wechselstrom in einem Leiter flieſst; für derartige Ströme, besonders wenn die Wechselzahl eine groſse ist, bietet daher ein Draht einen gröſseren Widerstand als für einen konstanten Strom, der den ganzen Querschnitt des Drahtes ausfüllt.

Auch für die in beliebigen Metallmassen induzierten Ströme gilt das Lenzsche Gesetz und dieselben wirken daher, wenn die Induktion durch Änderungen der relativen Lage, etwa durch die Bewegung eines Magneten in der Nähe einer Metallmasse oder umgekehrt verursacht ist, der Ursache, durch welche sie hervorgerufen sind, entgegen. Dadurch erklären sich einige merkwürdige Erscheinungen, die zum Teil auch praktische Verwendung gefunden haben, wie die Verzögerung, welche die Bewegung einer Metallmasse in einem Magnetfelde erleidet, oder die Erscheinung, daſs eine Magnetnadel, die man in der Nähe einer Metallmasse in Schwingungen versetzt, immer kleinere Schwingungen vollführt, bis diese schlieſslich ganz verlöschen. Diese letztere Erscheinung benutzt man bei den Galvanometern, deren Nadel man innerhalb eines massiven Kupferblockes aufhängt, um ihre Schwingungen rasch zum Verlöschen zu bringen.

21. Selbstinduktion.

Wenn die Stärke des Stromes in einem Leiter sich ändert, so finden auch innerhalb des Leiters selbst Induktionserscheinungen statt. In der Tat muſs ja das durch den Strom erzeugte veränderliche Magnetfeld in dem Stromkreise selbst eine elektromotorische Kraft der Induktion wachrufen, die während jeder Abnahme des Stromes dessen Intensität erhöht und während jeder Zunahme desselben die Intensität vermindert. Kurz gesagt, besteht also die Wirkung der von einem Stromkreise auf sich selbst ausgeübten Induktion oder der sogenannten Selbstinduktion darin, die Änderungen der Intensität des in dem Kreise vorhandenen Stromes abzuschwächen. Diese Wirkung läſst sich mit derjenigen vergleichen, welche die Trägheit auf einen in Bewegung befindlichen Körper ausübt, denn auch diese strebt dahin, Änderungen der Geschwindigkeit des Körpers abzuschwächen, wie ja bekanntermaſsen die Wirkung der an den Motoren angebrachten Schwungräder auf ihrer Trägheit beruht. Indessen ist diese Analogie nur eine sehr oberflächliche. Die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion ist proportional der Geschwindigkeit, mit welcher in dem betrachteten Augenblicke die Intensität des Stromes variiert; sie ist ferner proportional einem Koeffizienten, der den Namen Selbstinduktionskoeffizient oder auch einfach Selbstinduktion erhalten hat und der durch die Gestalt des Stromkreises bestimmt ist. Für einen geradlinigen Leiter ist derselbe klein, dagegen erreicht er einen hohen Betrag, wenn der Leiter zu einer Schraubenlinie oder Spirale gewunden ist. Er wird aber wiederum sehr gering, wenn die Schraubenlinie doppelt gewunden ist und der Strom durch den einen Zweig hin-, durch den anderen zurückflieſst.

Man kann sich nun vorstellen, der in einem gegebenen Augenblick in einem Stromkreise vorhandene Strom setze sich aus zwei Teilen zusammen, nämlich aus dem Strome, wie er vorhanden wäre, wenn es keine Selbstinduktion gäbe, und dem durch die letztere verursachten Anteil. Diesen Anteil nennt man Extrastrom. Derselbe ist entgegengesetzt, d. h. er hat die entgegengesetzte Richtung wie der Hauptstrom, solange die Stärke dieses letzteren wächst; er ist direkt, wenn die Stärke des Hauptstromes abnimmt.

Schlieſst man also den Stromkreis einer galvanischen Batterie,

so tritt ein entgegengesetzter Extrastrom auf; während der veränderlichen Periode bei der Unterbrechung des Stromkreises erscheint ein direkter Extrastrom. Diesen Extraströmen ist es zuzuschreiben, dafs bei Schliefsung eines Stromkreises, auch wenn derselbe eine grofse Zahl von galvanischen Elementen oder Akkumulatoren umfafst, nur ein sehr schwacher Funke, bei Unterbrechung des Stromkreises dagegen, zumal wenn derselbe eine grofse Selbstinduktion enthält, ein ungleich glänzenderer Funke aufzutreten pflegt.

22. Der Ruhmkorffsche Induktor.

Ein Apparat, welcher zu den verschiedenartigsten Versuchen Verwendung findet und sich besonders zur Erzeugung der in der Telegraphie ohne Draht benutzten elektrischen Wellen in hervorragendem Mafse eignet, ist der Ruhmkorffsche Induktionsapparat (Fig. 19). Da seine Wirkung auf Induktion beruht, so wollen wir an dieser Stelle eine kurze Beschreibung desselben geben.

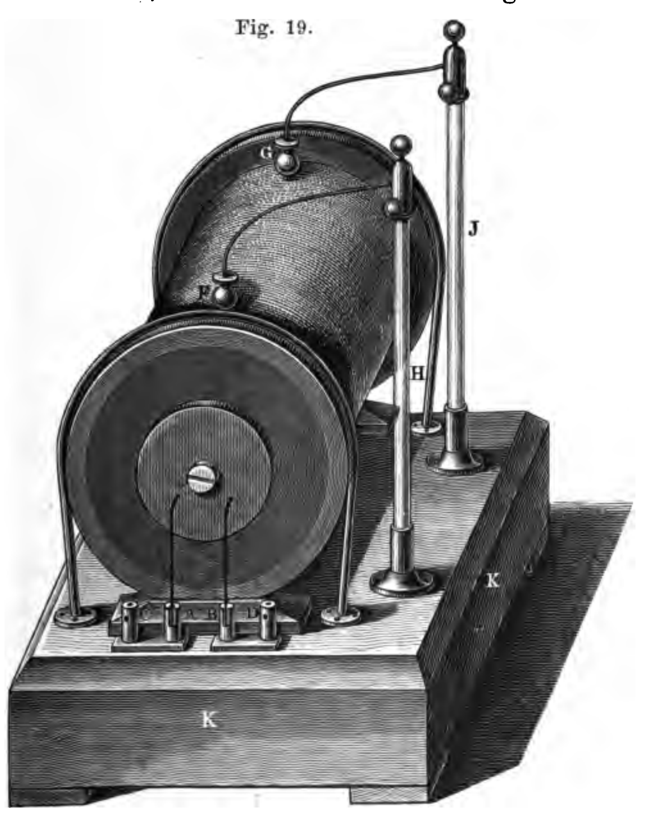
Der Apparat umfafst zwei Stromkreise. In einen derselben ist eine galvanische Batterie oder anderweitige Stromquelle eingeschaltet und derselbe wird in regelmäfsigen und kurz aufeinander folgenden Zwischenräumen unterbrochen und wieder geschlossen. Dadurch entsteht in dem anderen Stromkreise jedesmal eine elektromotorische Kraft der Induktion, welche bei jeder Schliefsung des Primärstromes einen Strom von entgegengesetzter Richtung wie dieser, bei jeder Unterbrechung desselben einen mit diesem gleichgerichteten Strom zu erzeugen strebt. Die elektromotorischen Kräfte bei der Unterbrechung benutzt man zur Hervorbringung kräftiger Entladungen, welche in speziellen Fällen diejenigen einer elektrostatischen Maschine ersetzen können und bequemer als diese zu gewinnen sind.

Der induzierende Stromkreis besteht aus einem mehrere Millimeter dicken Draht, der mit Seide oder einem anderen guten Isoliermaterial umhüllt und in Form einer Spule auf ein zylindrisches Bündel von Eisendrähten aufgewickelt ist. Der induzierende Draht ist stets nur von verhältnismäfsig geringer Länge und bildet deshalb auch nur wenige, oft nur zwei Lagen um den Kern aus Eisendraht, damit sein Leitungswiderstand nur möglichst wenig von demjenigen der mit ihm verbundenen Batterie von galvanischen Elementen oder Akkumulatoren abweicht, weil dies

die Bedingung für eine möglichst kräftige Magnetisierung der Eisendrähte ist. Diese letzteren bilden mit der sie umgebenden Drahtspule im Grunde nichts weiter als einen Elektromagneten, der, wenn er durch den Strom erregt wird, ein sehr starkes Magnetfeld erzeugt.

Der induzierte Stromkreis besteht aus einem sehr langen und sehr dünnen Draht, der in einer Anzahl von Lagen um den eben

Fig. 19.



beschriebenen Elektromagneten herumgewickelt ist und im ganzen Tausende von Windungen um denselben bildet.

Die Kraftlinien des durch den Elektromagneten erzeugten Magnetfeldes durchlaufen das Eisendrahtbündel in gerader Richtung und breiten sich von den Endflächen desselben nach allen Seiten aus, wobei jede Linie eine gekrümmte Gestalt annimmt und von einer Endfläche des Bündels nach der anderen führt. Ver-

nachlässigen wir die wenigen Kraftlinien, welche etwa auf ihrem krummlinigen Wege von einer Endfläche des Eisenkerns zur anderen in die induzierte Spule eindringen können, so dürfen wir sagen, dafs die letztere die ganze Kraftströmung aufnimmt. Die Anordnung des Magnetfeldes ist also derart, dafs in dem äufseren Stromkreise die gröfstmöglichen elektromotorischen Kräfte induziert werden. Und da jede der zahlreichen Windungen, welche den induzierten Stromkreis bilden, die gleiche Einwirkung erfährt, so erreicht die gesamte induzierte elektromotorische Kraft einen sehr hohen Betrag, und zwischen den Enden des dünnen Drahtes bildet sich eine Potentialdifferenz aus, die grofs genug ist, um Funken von beträchtlicher Länge hervorzurufen.

Die Selbstinduktion in dem induzierenden Stromkreise bringt es jedoch mit sich, dafs bei der Unterbrechung desselben die Änderung des Magnetfeldes ungleich rascher vor sich geht als bei der Schliefsung des Stromes. Bei den Stromunterbrechungen wird also in dem äufseren Stromkreise eine viel gröfsere elektromotorische Kraft induziert als bei den Stromschliefsungen und so erklärt es sich, dafs bei einer gewissen Entfernung zwischen den Enden *F* und *G* (Fig. 19) des induzierten Drahtes nur noch in den Momenten der Unterbrechung des induzierenden Stromkreises Funken zustande kommen.

Die grofsen Potentialdifferenzen, welche in dem induzierten Drahte auftreten, machen eine besonders gute Isolierung desselben erforderlich. Zu diesem Zwecke überzieht man den Draht, nach dem Vorgange Ruhmkorffs, der die ersten kräftigen Induktionsapparate baute, bei seiner Umkleidung mit Seide zugleich mit einer Schicht von geschmolzenem Harz. Später hat man auch hier und da das Harz durch ein flüssiges Isoliermaterial (Petroleum, Olivenöl, Vaselinöl etc.) ersetzt oder die Isolierung noch auf andere Weise zu verbessern gesucht.

Der Induktionsapparat liefert bei jeder Unterbrechung des induzierenden Stromes einen Funken; aber bei einer gegebenen Stromquelle im induzierenden Kreise darf die Häufigkeit der Unterbrechungen eine gewisse Grenze nicht überschreiten, wenn die Länge der Funken nicht beeinträchtigt werden soll. Die Abnahme der induzierten elektromotorischen Kraft, die eintritt, wenn die Unterbrechungen zu rasch aufeinander folgen, hat ihre Ursache darin, dafs das Eisen eine gewisse Zeit beansprucht, um seinen Magnetismus zu verlieren und dafs mithin, wenn die Unter-

brechungen zu rasch aufeinander folgen, das Magnetfeld zwischen einer Unterbrechung und der nächstfolgenden nicht vollständig erlöschen kann. Um bei sehr rascher Folge der Stromunterbrechungen die gröfstmöglichen Potentialdifferenzen zu bekommen, mufs man deshalb über ein sehr kräftiges Magnetfeld verfügen und zur Erzeugung desselben bedarf es eines induzierenden Stromes von möglichst hoher elektromotorischer Kraft.

Aufserordentlich häufige Unterbrechungen wären allerdings auch zu erlangen, wenn man den Eisenkern der Spule beseitigen wollte, aber damit würde gleichzeitig die Induktionswirkung dermafsen sinken, dafs der Apparat für die meisten Zwecke völlig unbrauchbar würde. Fast ebenso schädlich wäre es, wenn man das Bündel von Eisendrähten durch einen massiven Eisenkern ersetzen wollte. Bei einem Elektromagneten, der mit geschlossenem Stromkreise zu funktionieren hat, würde eine derartige Änderung allerdings keinen Nachteil mit sich bringen, im vorliegenden Falle aber würden in der Eisenmasse ebenfalls Ströme (die sogenannten Foucaultschen Ströme) induziert werden, die auf den induzierten Stromkreis eine entgegengesetzte Wirkung wie der Hauptstrom hervorbringen und damit die Funkenlänge bedeutend herabsetzen müfsten.

Wir kommen nunmehr zu den Unterbrechern. Mit diesem Namen bezeichnet man Apparate, welche selbsttätig die Unterbrechung des induzierenden Stromkreises bewirken. Es gibt solche von verschiedenerlei Art, wir beschränken unsere Betrachtung jedoch auf die drei wichtigsten Typen.

Der einfachste selbsttätige Unterbrecher ist der magnetische Hammer. Seine Einrichtung unterscheidet sich kaum von der wohlbekannten elektrischen Klingel; nur haben die Feder des eisernen Hammers oder Ankers, sowie die Kontaktstücke eine etwas andere Gröfse, die sich in gewissem Grade nach den Dimensionen des Induktionsapparates zu richten hat; auch mufs die Konstruktion des Ganzen eine sorgfältigere sein. In geringem Abstande von einem Ende des Eisendrahtbündels ist an einem federnden Stahlstreifen der kleine Hammer angebracht; die Stahlfeder berührt in ihrer Ruhelage ein fest mit dem Apparat verbundenes Metallstück und durch die Berührungsstelle geht der Strom, welcher den Induktionsapparat speist. Infolgedessen wird das Eisendrahtbündel magnetisch und zieht den Hammer an; durch dessen Bewegung erleidet die Stahlfeder eine gewisse Biegung, sie entfernt

sich von dem Metallstück und der Strom wird unterbrochen. Damit verliert aber auch das Eisen seinen Magnetismus, der Hammer wird losgelassen, die Feder kehrt in ihre Ruhelage zurück und schliefst den Strom; das Spiel beginnt von neuem und wiederholt sich unbegrenzt. Die Feder nimmt also eine schwingende Bewegung an, deren Periode durch ihre Dimensionen bedingt ist, und mit der gleichen Periode wiederholen sich die Unterbrechungen des Stromes. Um beim Stromschlufs eine gute und sofortige Berührung zwischen der Feder und dem festen Metallstück zu erzielen und gewisse, bei Benutzung anderer Metalle auftretende Übelstände zu vermeiden, gibt man den Kontaktstellen zweckmäfsig einen Überzug von Platin.

Für grofse Induktionsapparate ist dieser Unterbrecher nicht geeignet, weil die starken induzierenden Ströme, welche man für diese Apparate benutzt, an der Berührungsstelle zwischen der Feder und dem festen Metallstück Funken erzeugen, die selbst den Platinbezug in kurzer Zeit zum Schmelzen bringen und die beiden Stücke aneinander löten würden, wodurch der Apparat unbrauchbar würde. Besonders lang und stark sind die Funken bei der Lostrennung der Feder von dem Metallstück, also bei der Unterbrechung des Stromes. Die Ursache hiervon liegt, wie wir bereits sahen, in dem Extrastrom, und man hätte demnach, wenn man den Unterbrechungsfunken beseitigen oder wenigstens verringern könnte, zugleich den Vorteil erreicht, die veränderliche Periode des induzierenden Stromes abzukürzen und infolgedessen die elektromotorische Kraft des in dem dünnen Drahte induzierten Stromes zu steigern. Dieses Resultat wird erzielt mit Hilfe des Kondensators von Fizeau. Es ist dies ein Kondensator von sehr grofser Kapazität, den man gewöhnlich aus abwechselnden Lagen von Stanniol und mit Paraffin oder Schellackfirnis getränktem Papier herstellt und den man in einem flachen Kasten in der Grundplatte *K* (Fig. 19) des Induktionsapparates unterbringt. Von den Belegungen des Kondensators steht die eine mit der schwingenden Feder, die andere mit dem festen Kontaktstück in Verbindung; diese beiden Teile erhalten dadurch eine grofse Kapazität und dementsprechend vermindert sich die Potentialdifferenz zwischen denselben, welche durch Selbstinduktion entstehen kann, in bedeutendem Mafse und mit ihr verliert auch der Öffnungsfunke den gröfsten Teil seiner Stärke.

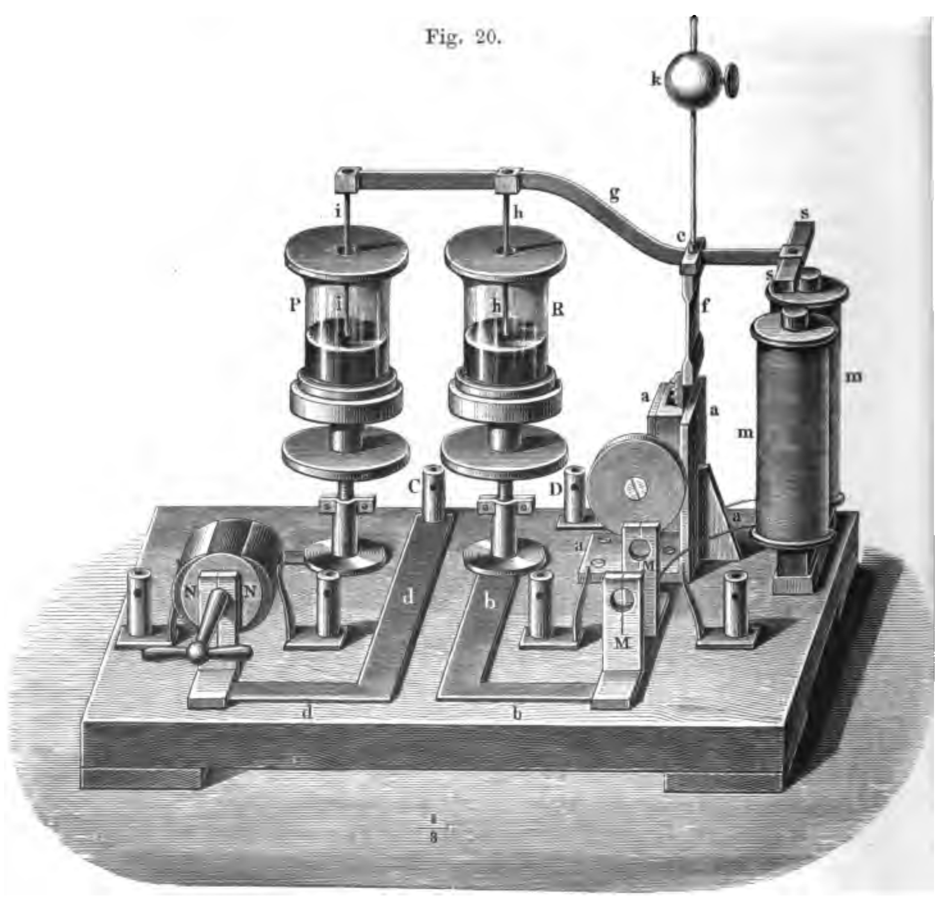
Allerdings bleibt es fraglich, ob der aufserordentliche Einflufs

des Fizeauschen Kondensators auf die geschilderte Weise vollständig erklärt ist, denn nach dieser Erklärung sollte man meinen dafs ein Kondensator um so wirksamer wäre, je gröfser seine Kapazität, während die Erfahrung lehrt, dafs für jeden Induktionsapparat ein Kondensator von bestimmter Kapazität die beste Wirkung hervorbringt. Vielleicht hätte eine vollständige Erklärung der Wirkungsweise des Kondensators gewisse Erscheinungen zu berücksichtigen, von denen späterhin die Rede sein wird, nämlich die elektrischen Schwingungen und ihre Resonanz; vielleicht tritt das Maximum der Wirkung des Kondensators dann ein, wenn die Periode der Eigenschwingungen des induzierenden Stromkreises derjenigen des induzierten Stromkreises gleich gemacht ist, oder mit anderen Worten, wenn zwischen beiden Stromkreisen Resonanz besteht.

Für grofse Induktionsapparate ist übrigens der Hammerunterbrecher überhaupt nicht gut zu gebrauchen; an seine Stelle tritt zweckmäfsiger der Foucaultsche Unterbrecher (Fig. 20 a. f. S.), der im Grunde nur eine Abänderung des ersteren ist. Die schwingende Feder f ist zumeist vertikal angeordnet und trägt einen horizontalen Hebel gs, sowie einen vertikalen Ansatz, auf welchem ein Gewicht k verschiebbar ist, mit dessen Hilfe sich die Schwingungsperiode des Unterbrechers variieren läfst. Der Unterbrecher wird mit Hilfe eines Elektromagneten mm durch einen besonderen, von dem induzierenden Strome unabhängigen Strom in Bewegung gesetzt. Zu diesem Zwecke trägt der horizontale Hebel gs am einen Ende, über dem Elektromagneten, ein Eisenstück ss, welches von jenem angezogen wird; dadurch geht der andere Arm des Hebels in die Höhe und ein an demselben befestigter Platinstift h, welcher in der Ruhelage des Hebels in ein Gefäfs mit Quecksilber R taucht, tritt aus demselben heraus und unterbricht den Hilfsstrom. Ganz wie beim Hammer kehrt auch hier infolge der Unterbrechung der Hebel in seine Ruhelage zurück und beginnt eine ununterbrochene Folge von Schwingungen, welche benutzt werden, um einen zweiten an dem Hebel befestigten Platinstift abwechselnd in das in einem zweiten Gefäfse P befindliche Quecksilber einzutauchen und wieder aus demselben herauszuziehen. Durch diesen Stift und das Quecksilber geht nun der induzierende Strom, der auf diese Weise periodisch geschlossen und unterbrochen wird. Eine isolierende Flüssigkeit über dem Quecksilber, etwa eine Schicht Alkohol, dient dazu, die

Dauer des Funkens zwischen dem Platin und dem Quecksilber abzukürzen, die Unterbrechung also rascher zu gestalten und damit die Funkenlänge zwischen den Enden des induzierten Stromkreises zu steigern. Auch dieser Unterbrecher bedarf des Fizeauschen

Fig. 20.



Kondensators, der deshalb jedem Induktionsapparate beigegeben zu sein pflegt.

Um die Bewegung des Unterbrechers regelmäſsiger zu erhalten, die Oxydation des Quecksilbers oder seine Vermischung mit der isolierenden Flüssigkeit zu verhindern oder die Periode der Unterbrechungen innerhalb weiterer Grenzen variieren zu können, hat man verschiedene Abänderungen des Quecksilberunterbrechers

vorgeschlagen, die zumeist darauf hinauslaufen, die Unterbrechungen mit Hilfe einer durch einen kleinen elektrischen Motor unterhaltenen auf und ab gehenden oder rotierenden Bewegung zu bewirken. Näheres über diese Unterbrecher findet der Leser in § 51 dieses Buches.

Ein dritter Unterbrecher, welcher eine Frequenz von mehreren hundert Entladungen in der Sekunde zu erreichen gestattet, ohne dafs die aufserordentlich rasche Folge derselben die Länge des Funkens beeinträchtigt, wurde neuerdings von Wehnelt erfunden und wird mit dem Namen elektrolytischer Unterbrecher bezeichnet. Derselbe beruht auf der folgenden, seit lange bekannten Erscheinung. Wird in den Stromkreis einer Batterie von galvanischen Elementen oder Akkumulatoren verdünnte Schwefelsäure zwischen Platinelektroden, die der Flüssigkeit nur eine kleine Berührungsfläche darbieten, eingeschaltet, und vermehrt man nach und nach die Anzahl der Elemente oder Akkumulatoren, so tritt ein Moment ein, in welchem der Strom intermittierend wird. Im Dunkeln gewahrt man dann auf den Elektroden und insbesondere auf der Anode eine Lichterscheinung, begleitet von einem mehr oder weniger hohen Ton, dessen Schwingungszahl pro Sekunde mit der Anzahl der Stromunterbrechungen in der gleichen Zeit übereinstimmt. Die Erklärung dieses Vorganges ergibt sich aus einer Wärmeerscheinung, welche die Elektrolyse begleitet. Wenn der Strom sehr stark ist, erhitzt sich nämlich der Platindraht in beträchtlichem Mafse; das in unmittelbarer Berührung mit diesem befindliche Wasser verdampft und es tritt zwischen die Flüssigkeit und die Elektrode eine Dampfhülle, welche den Strom unterbricht. Der Funke, welcher die Unterbrechung begleitet, wird durch den Extrastrom stärker und glänzender und ist die Ursache der erwähnten Lichterscheinung. Mit dem Aufhören des Stromes verdichtet sich der Wasserdampf wieder oder steigt samt dem durch die Elektrolyse an der Anode entwickelten Sauerstoff aus der Flüssigkeit empor; die Flüssigkeit tritt aufs neue mit der Elektrode in Berührung und der geschilderte Vorgang wiederholt sich ohne Ende. Fig. 21 stellt eine der Formen dar, welche der Apparat erhalten hat. Als Kathode fungiert eine grofse Bleiplatte, als Anode ein Platindraht, der in das untere Ende eines Glasrohres eingeschmolzen ist; innerhalb dieses letzteren befindet

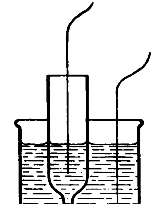
Fig. 21.

sich der Leiter, der die Verbindung mit dem Platindraht vermittelt. Der elektrolytische Unterbrecher wird in den induzierenden Stromkreis des Ruhmkorffschen Induktionsapparates eingeschaltet und erhält von diesem die Selbstinduktion, deren er zum Funktionieren bedarf und von deren Betrag die Anzahl der Unterbrechungen pro Sekunde abhängt.

Anstatt der acht oder zehn Unterbrechungen, welche man mit anderen Vorrichtungen erhält, liefert der elektrolytische Unterbrecher, wie bereits gesagt, mehrere hundert Unterbrechungen in der Sekunde, und ebenso häufig erfolgen natürlich auch die Entladungen zwischen den Enden des induzierten Stromkreises. Dafür mufs freilich anderseits der Umstand ausgeglichen werden, dafs das Eisen des Induktionsapparates in der kurzen Unterbrechungsperiode seinen Magnetismus nur zum kleinen Teil verlieren kann. Im Vergleich mit dem Foucaultschen bedarf deshalb der elektrolytische Unterbrecher eines wesentlich stärkeren Stromes; während für den ersteren vier Akkumulatoren genügen mögen, bedarf der letztere deren z. B. 30, und mit weniger als 15 Akkumulatoren kommt das Wehneltsche Phänomen überhaupt nicht zu stande. Eines Kondensators bedarf es dagegen bei diesem Unterbrecher offenbar nicht.

Seit langer Zeit schon ist es bekannt, dafs ähnliche Erscheinungen wie die eben beschriebenen auch an anderen Stellen als unmittelbar an den Elektroden eintreten können, falls die Flüssigkeit dem Durchgange des Stromes irgendwo einen sehr geringen Querschnitt darbietet. Derartige Erscheinungen wurden bereits im Jahre 1877 beobachtet. Neuerdings hat man dieselben zur Konstruktion eines elektrolytischen Unterbrechers (Fig. 22) benutzt, in welchem die Flüssigkeit sich in zwei ineinandergesetzten Gefässen befindet; jedes derselben enthält eine Elektrode und der Durchgang des Stromes erfolgt durch eine kleine Öffnung des inneren Gefäfses. Innerhalb dieser Öffnung geht die Wärme- und Lichterscheinung, welche die Unterbrechung bewirkt, in ähnlicher Weise wie bei dem anderen Unterbrecher vor sich.

Fig. 22.



Nahe verwandt mit den Induktionsapparaten sind die Transformatoren. Auch diese haben einen aus Eisendrähten gebildeten Kern, der im allgemeinen in sich geschlossen ist; zwei gesonderte Stromkreise von verschiedener Windungszahl sind auf denselben

aufgewickelt. Wird durch den einen Stromkreis ein Wechselstrom gesandt, so tritt in dem anderen Kreise ein Strom von derselben Art auf, mit dem Unterschiede jedoch, dafs die Maximalwerte der Stromintensität und der elektromotorischen Kraft je nach dem Verhältnis zwischen den Windungszahlen der beiden Stromkreise in dem einen oder anderen Sinne miteinander vertauscht sind. Die Transformatoren gestatten also, das Verhältnis zwischen den beiden Gröfsen, aus deren Produkt die Energie eines elektrischen Stromes besteht, nämlich der elektromotorischen Kraft und Stromstärke, zu verändern.

Ein Transformator von besonderer Art, der sich speziell für Wechselströme von aufserordentlich hoher Frequenz eignet, wie wir ihnen später in den Entladungen von Kondensatoren oder einfachen Leitern begegnen werden, findet bisweilen Anwendung in der Telegraphie ohne Draht. Derselbe ähnelt einem Ruhmkorffschen Induktor, doch fehlt der Eisenkern, und die gröfste Sorgfalt ist auf die Isolierung der beiden Stromkreise verwendet, die sich zu diesem Zwecke in einer dielektrischen Flüssigkeit befinden. Sendet man durch denjenigen der beiden Stromkreise, der aus der kleineren Zahl von Windungen besteht, eine oszillierende Entladung (s. hierüber Tl. II, Kap. I, § 25 dieses Buches), so entsteht durch Induktion in dem anderen Stromkreise eine ähnliche Entladung und man erhält zwischen den Enden dieses letzteren Stromkreises viel längere Funken, als sie die induzierende Entladung direkt liefern könnte.

Oft benutzt man einen derartigen Transformator in Verbindung mit einem gewöhnlichen Induktor, wobei dieser letztere dazu dient, einen Kondensator zu laden, den man dann durch den kürzeren Stromkreis des Transformators entlädt.

23. Das elektromagnetische Feld.

Wie bereits an anderer Stelle erwähnt wurde, ist nach der modernen Anschauung, welche der Maxwellschen Theorie zu grunde liegt, der Sitz der elektrischen Energie in erster Linie in den dielektrischen Medien zu suchen. Aus dieser Anschauung ergibt sich eine Darstellung der Erscheinungen des veränderlichen Zustandes, die wir hier, so weit dies ohne mathematischen Apparat möglich ist, in ihren allgemeinen Zügen charakterisieren wollen. Unsere Aufgabe besteht darin, die in diesem und dem vorhergehenden Kapitel mitgeteilten Tatsachen und Gesetze durch die

Annahme zu verallgemeinern, dafs den Verschiebungsströmen oder dielektrischen Strömen die gleichen Eigenschaften zukommen, wie wir sie für die Leitungsströme gefunden hatten. Einer ähnlichen Verallgemeinerung waren wir bereits im § 17 begegnet. Dort hatten wir angenommen, ein Konvektionsstrom, d. h. ein durch Bewegung geladener Körper vermittelter Transport von Elektrizität, besitze sämtliche Eigenschaften eines Leitungsstromes. Die Verallgemeinerung, um welche es sich nunmehr handelt, ist nicht weniger intuitiver Art. Den Ausgangspunkt, von welchem wir zu ihr gelangen, bilden die Gesetze des Elektromagnetismus und der Induktion, doch bedürfen wir derselben in einer für unseren Zweck geeigneteren Form als es diejenige ist, in der sie sich unmittelbar aus den Experimenten ergeben und in der wir sie in § 17 und § 20 kennen gelernt haben. Auf den vollständigen Beweis, dafs die neue Form mit der älteren gleichwertig ist, müssen wir allerdings verzichten, weil derselbe nur mit Hilfe mathematischer Berechnungen möglich ist, die uns zu weit von dem sonstigen Charakter unserer Darstellung entfernen würden.

Um diese Darstellung zu vereinfachen, beginnen wir mit einer Definition.

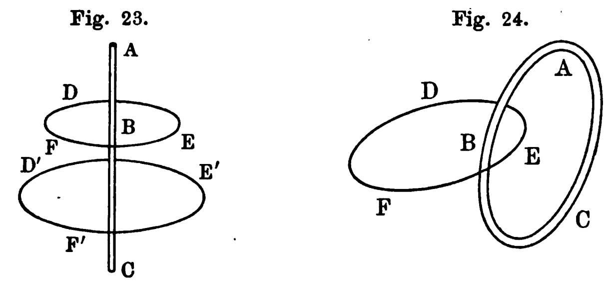
In einem elektrischen oder magnetischen Kraftfelde wollen wir uns eine beliebige Linie gezogen und in eine ungeheuere Anzahl kleiner Strecken zerlegt denken, von denen jede infolge ihrer Kleinheit als ein Stück einer geraden Linie betrachtet werden kann. Nunmehr wollen wir die folgende Berechnung anstellen. Die Länge einer jeden Strecke soll mit der in ihre Richtung fallenden Komponente der elektrischen oder magnetischen Kraft multipliziert werden, welche an der betreffenden Stelle wirkt (oder genauer gesagt, welche an der betreffenden Stelle wirken würde, wenn daselbst eine Einheit von Elektrizität oder Magnetismus vorhanden wäre); diese Produkte, die wir für sämtliche Stücke der betrachteten Linie gebildet hatten, sollen zueinander addiert werden. Die Summe, welche man erhält, stellt offenbar nichts anderes dar als die Arbeit, welche die elektrische oder magnetische Kraft beim Transport einer Einheit von Elektrizität oder Magnetismus von einem Ende der Linie bis zum anderen zu leisten hat. Im Falle eines elektrostatischen Feldes ist diese Arbeit gleich der Differenz zwischen den Werten des Potentials an den Endpunkten der krummen Linie, oder mit anderen Worten, gleich der zwischen denselben bestehenden elektromotorischen Kraft.

Ist die Kurve in sich geschlossen und liegt sie vollständig innerhalb eines homogenen Dielektrikums, so ist jene Arbeit gleich Null; das Gleiche gilt für ein durch Magnete erzeugtes Magnetfeld.

Es gibt jedoch, wie wir sogleich sehen werden, auch Fälle, in welchen die auf die angegebene Weise berechnete Arbeit, die man als Kraftströmung längs der Kurve (häufig auch als Integral der Kraft längs der Kurve) bezeichnet, auch für eine geschlossene Kurve von Null verschieden ist.

Nachdem wir so den Begriff der Kraftströmung längs einer Linie (der natürlich mit dem Begriff der Strömung durch eine Fläche, den wir an anderer Stelle kennen gelernt haben, nicht zu verwechseln ist) festgestellt haben, wollen wir das von einem geradlinigen Strome ABC (Fig. 23) erzeugte Magnetfeld näher betrachten. Die Kraftlinien dieses Magnetfeldes sind, wie wir wissen, Kreise, deren Ebenen senkrecht zur Linie AC und deren

Fig. 23. Fig. 24.



Mittelpunkte auf AC liegen; einer derselben sei DEF. Ein magnetischer Einheitspol, der sich längs dieser Kraftlinie bewegen kann, erhält durch die magnetische Kraft einen beständigen Antrieb, und jedesmal, wenn er den Weg um den Strom ABC vollständig zurückgelegt hat, ist durch die magnetische Kraft eine gewisse Arbeit geleistet worden. Diese Arbeit bezeichnet man als Kraftströmung längs der Linie DEF; dieselbe ist offenbar gleich dem Produkte aus der Kraft und der Länge des Kreisumfanges DEF.

Der Betrag der Kraftströmung längs einer anderen Kraftlinie $D'E'F'$, deren Radius von demjenigen der vorigen verschieden ist, bleibt der gleiche; denn die Länge des Kreisumfanges steht zwar in direktem Verhältnis zum Radius, dagegen wissen wir, dafs die magnetische Kraft sich in umgekehrtem Verhältnis zum Radius ändert. Das Produkt beider Gröfsen, welches eben diese Kraftströmung darstellt, bleibt deshalb unverändert und ist lediglich der Intensität des in ABC fliefsenden Stromes proportional, weil im

gleichen Verhältnis mit dieser auch die magnetische Kraft steigt oder fällt. Man kann also sagen, dafs die magnetische Kraftströmung längs einer beliebigen Kraftlinie gleich ist dem Produkt aus der Intensität des elektrischen Stromes, von welchem die magnetische Kraft herrührt, und einem numerischen Faktor; und zwar läfst sich beweisen, dafs dieser letztere gleich dem Vierfachen jener bekannten Zahl ist, welche das Verhältnis zwischen dem Umfange eines Kreises und seinem Durchmesser ausdrückt.

Ferner läfst sich beweisen, dafs die magnetische Kraftströmung auch dann noch unverändert bleibt, wenn man sie anstatt auf eine Kraftlinie auf eine beliebige geschlossene und den Strom in sich schliefsende Kurve bezieht. Das gleiche gilt auch, wenn, wie es in Fig. 24 (a. v. S.) dargestellt ist, der von dem elektrischen Strom durchflossene Draht *ABC* eine beliebig geschlossene Kurve bildet, in welche die Linie *DEF* wie ein Glied einer Kette in das nächstfolgende hineingreift. Für jeden stromdurchflossenen geschlossenen Leiter ist also die Strömung der magnetischen Kraft längs einer geschlossenen, mit dem Leiter verketteten Linie gleich der mit dem vorhin definierten Zahlenfaktor multiplizierten Intensität des Stromes.

Treten durch die Kurve *DEF* anstatt des einen Stromes *ABC* deren mehrere hindurch, so wird die magnetische Kraftströmung nach dem Gesagten offenbar gleich dem Produkt aus dem erwähnten Faktor und der Summe der Intensitäten jener Ströme, oder, was dasselbe ist, der gesamten Elektrizitätsmenge, welche in der Zeiteinheit durch eine beliebige, von der Kurve *DEF* begrenzte Fläche hindurchtritt. Das hiermit ausgesprochene Gesetz ist im Grunde gleichbedeutend mit demjenigen, von welchem wir ausgegangen waren, aber es bietet den Vorzug, dafs es sich leicht auch auf die dielektrischen Ströme anwenden läfst. Auf solche Weise stellt dasselbe für jeden Teil des Dielektrikums eine Beziehung her zwischen dem Vorgang der dielektrischen Verschiebung und der an der betreffenden Stelle wirksamen magnetischen Kraft. Wir wollen also annehmen, dafs durch die geschlossene Kurve *DEF*, längs deren die magnetische Kraftströmung, die wir berechnen wollen, vor sich geht, anstatt der Leitungsströme dielektrische Ströme hindurchtreten; oder mit anderen Worten, die Kurve *DEF* soll sich vollständig innerhalb eines Dielektrikums befinden, dessen Polarisation Veränderungen erfährt. Dann können wir sagen, dafs der dielektrische Strom oder die in der Zeiteinheit

vor sich gehende Änderung der gesamten elektrischen Verschiebung durch eine beliebige Fläche, multipliziert mit dem bekannten numerischen Faktor, gleich ist der magnetischen Kraftströmung längs des Umfanges der Fläche. Bemerkt sei noch, dafs das mit Bezug auf die magnetische Kraftströmung eines geschlossenen elektrischen Stromes *ABC* (Fig. 24) Gesagte nicht mehr gilt, wenn man sich an Stelle des Stromes die mit ihm gleichwertige magnetische Schale gesetzt denkt. In diesem Falle mufs nämlich ein Magnetpol, der durch die geschlossene Kurve *DEF* hindurchtritt, notwendigerweise auch die magnetische Schale kreuzen; beim Übergang von einer Fläche der magnetischen Schale zur anderen wird eine Arbeit geleistet, die gleich grofs und von entgegengesetztem Vorzeichen ist wie diejenige, die während des übrigen Weges geleistet wird; die Summe der Arbeit für den ganzen Weg ist also, wie dies auch bei einem durch Magnete erzeugten Magnetfeld der Fall sein mufs, gleich Null.

Eine Beziehung von ähnlicher Art wie die eben aufgestellte ergibt sich aus dem Induktionsgesetze mit Hilfe der Annahme, dafs eine elektrische Kraft magnetischen Ursprungs sich in keiner Weise von einer elektrischen Kraft elektrostatischen Ursprungs unterscheidet. Tatsächlich hatten wir diese Annahme bisher immer stillschweigend gemacht, wie ja auch anderseits niemand daran zweifelt, dafs zwischen einer von elektrischen Strömen herrührenden und einer durch Magnete erzeugten magnetischen Kraft keinerlei Unterschied besteht.

Nun wissen wir, dafs jede Änderung der durch einen geschlossenen metallischen Leiter hindurchtretenden magnetischen Kraftströmung in dem Leiter eine elektromotorische Kraft der Induktion weckt, die dem auf die Zeiteinheit entfallenden Betrag jener Änderung proportional ist.

Im Falle eines dielektrischen Mediums kann man sich den Stromkreis als eine geschlossene Linie denken und man kann annehmen, infolge der magnetischen Änderung trete längs dieser Linie ein induzierter dielektrischer Strom auf, also eine elektrische Kraft, deren Strömung längs der geschlossenen Linie in diesem Falle an Stelle der Gröfse tritt, die wir im Falle des Leitungsstromes elektromotorische Kraft genannt hatten. Das Gesetz der Induktion läfst sich somit für die Dielektrika folgendermafsen ausdrücken: Die in der Zeiteinheit stattfindende Änderung der magnetischen Kraftströmung durch eine beliebige Fläche ist

proportional der elektrischen Kraftströmung längs des Umfanges der Fläche.

Führt man an Stelle der magnetischen Kraftströmung die Änderung der magnetischen Verschiebung in der Zeiteinheit ein, so tritt dieser Satz in vollständige Analogie mit dem vorigen; doch bedarf zu diesem Zwecke zunächst der Begriff dieser Verschiebung einer Erläuterung.

Da zwischen dem durch Magnete erzeugten Magnetfelde und dem elektrostatischen Felde eine vollständige Übereinstimmung besteht, so ist es natürlich, dafs wir mit Hilfe ähnlicher Begriffe, wie sie uns von den Eigenschaften des elektrostatischen Feldes Rechenschaft geben konnten, auch von dem magnetischen Felde ein Bild zu gewinnen suchen. Wir nehmen also an, dafs in dem (freien oder in einem Dielektrikum enthaltenen) Äther aufser der elektrischen auch eine magnetische Verschiebung stattfinden kann, d. h. eine zweite Art von elastischer Deformation, wahrscheinlich von der Natur einer Rotation oder Torsion. Und ebenso wie wir angenommen hatten, dafs die elektrische Verschiebung proportional sei der elektrischen Kraft, so müssen wir auch zwischen der magnetischen Verschiebung und der magnetischen Kraft Proportionalität voraussetzen. Auch die scheinbar als unvermittelte Distanzwirkungen auftretenden Anziehungen und Abstofsungen zwischen Magneten finden nach dieser Annahme ihre Erklärung als Folgen der durch die magnetische Verschiebung geweckten elastischen Rückwirkung des Äthers. Hiernach sind also im Äther zwei verschiedene Arten von Deformationen möglich, die miteinander durch die Beziehungen verknüpft sind, welche wir im vorstehenden darzulegen versuchten.

Ist nun, wie wir angenommen haben, die magnetische Verschiebung proportional der magnetischen Kraft, so mufs die Strömung dieser letzteren durch eine gegebene Fläche proportional sein der gesamten magnetischen Verschiebung durch diese Fläche, und die Änderung der Kraftströmung in der Zeiteinheit mufs proportional sein der Änderung der magnetischen Verschiebung. Wir können folglich den aus dem Induktionsgesetz abgeleiteten Satz in der Weise abändern, dafs wir an die Stelle der Kraftströmung die Verschiebung setzen. Und da man ferner nachweisen kann, dafs der Proportionalitätsfaktor zwischen der elektrischen Kraftströmung längs des Umfanges einer Fläche und der Änderung der magnetischen Verschiebung durch die Fläche der gleiche numerische

Faktor ist, dem wir schon öfter begegnet sind, so lassen sich die beiden gesonderten Sätze folgendermaſsen in einen einzigen zusammenfassen: Wenn in einem Dielektrikum elektromagnetische Erscheinungen auftreten, so ist die in der Zeiteinheit stattfindende Änderung der $\left\{\begin{matrix}\text{magnetischen}\\ \text{elektrischen}\end{matrix}\right.$ Verschiebung durch eine Fläche, multipliziert mit dem bekannten Zahlenfaktor, gleich der $\left\{\begin{matrix}\text{magnetischen}\\ \text{elektrischen}\end{matrix}\right\}$ Kraftströmung längs des Umfanges der gleichen Fläche.

Um zu diesen Sätzen zu gelangen, muſsten wir gewisse Hypothesen einführen, welche auf den Sitz der Erscheinungen und auf den Anteil des Äthers an denselben Bezug haben. Daſs diese Hypothesen zulässig sind, muſs aber durch das Experiment nachgewiesen werden. Dieser erwünschte Nachweis ist nun in der Tat in vollem Umfange und mit Sicherheit, wenn auch auf indirektem Wege, gelungen. Indem man nämlich auf die vorstehenden Sätze gewisse mathematische Operationen anwendete, die wir hier allerdings nicht wiedergeben können, haben sich eine Reihe von Formeln ergeben, welche für einen beliebigen Moment und für jeden Punkt des Dielektrikums, in welchem elektromagnetische Erscheinungen vor sich gehen, zwischen der elektrischen und der magnetischen Kraft gewisse Beziehungen allgemeinen Charakters feststellen. Aus diesen Formeln, die von Maxwell aufgestellt und von Hertz später abgeändert wurden, hat sich insbesondere ergeben, daſs eine irgendwo auftretende elektrische Störung zunächst in unmittelbarer Umgebung ihres Ursprunges, dann aber nach und nach in immer gröſserer Entfernung von demselben Veränderungen in den erwähnten Kräften hervorruft. Mit anderen Worten besagt dies, daſs die elektrischen Störungen (oder besser die elektromagnetischen, da ja, wie wir sahen, im veränderlichen Zustande elektrische und magnetische Erscheinungen miteinander verknüpft sind) sich im Dielektrikum oder im Äther mit einer gewissen Geschwindigkeit ausbreiten; diese Geschwindigkeit ist gleich derjenigen des Lichtes, d. h. für die Ausbreitung im Äther gleich 300 000 km in der Sekunde. Ist die elektromagnetische Störung periodischer Art (wofür wir im zweiten Teil Beispiele kennen lernen werden), so wird der elektromagnetische Vorgang in seinem Wesen identisch mit den Lichtwellen, da die elektrischen und magnetischen Kräfte zeitlich und räumlich den

gleichen Änderungen unterliegen wie z. B. die Geschwindigkeit der Teilchen in einem System von Lichtwellen. Es liegt daher die Annahme nahe, dafs das, was wir Licht nennen (und mithin auch die strahlende Wärme), im Grunde nichts anderes ist als eine Äufserung elektromagnetischer Wellen. Nach dieser elektromagnetischen Theorie des Lichtes, die heute allgemeine Geltung erlangt hat, haben wir in einem Lichtstrahl lediglich die Richtung zu erblicken, in welcher die elektromagnetische Energie sich fortpflanzt; diese Richtung steht (in den isotropen Medien) senkrecht auf den beiden Kräften, welche ihrerseits ebenfalls einen rechten Winkel miteinander bilden.

Die Hertzschen Versuche, mit denen wir uns im zweiten Teile eingehend befassen werden, haben für diese sowie für anderweitige Folgerungen, die sich aus der Maxwellschen Theorie ergeben, die Bestätigung geliefert und sie bilden damit zugleich den indirekten Nachweis, von dem oben die Rede gewesen war.

Dennoch kann diese Theorie, wie bereits gesagt wurde, nicht als ein fertiges Gebäude, sondern eher als das feste und sichere Gerüst gelten, auf welchem das eigentliche Gebäude seiner Vollendung entgegenstrebt. Die Maxwellschen Formeln geben z. B. für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen Werte, welche je nach der Natur des Dielektrikums verschieden, aber von der Schwingungsperiode unabhängig sind; in Wirklichkeit dagegen hängt bekanntlich die Geschwindigkeit des Lichtes in den durchsichtigen Körpern von der Schwingungsperiode ab und führt somit zur Erscheinung der Dispersion.

Bedenkt man nun, dafs die mechanischen Lichttheorieen zur Erklärung der Dispersion und noch anderer Erscheinungen die Anwesenheit der Atome der ponderablen Materie innerhalb des Äthers zu berücksichtigen haben, so wird es damit schon a priori wahrscheinlich, dafs es vermittelst der Annahme einer atomistischen Struktur auch für die Elektrizität gelingen könne, die Maxwellsche Theorie in gewünschter Weise zu vervollständigen. Diese modernste Anschauung stützt sich jedenfalls auf eine durchaus logische Interpretation der Erscheinungen der Entladung und vor allem der Elektrolyse; zum Schlusse dieses ersten Teiles dürfte daher eine kurze Betrachtung derselben am Platze sein.

24. Die elektrischen Atome oder Elektronen.

Die Erscheinungen der Elektrolyse und ihre Gesetze (§ 12) haben zu der Vorstellung geführt, dafs die Atome oder Atomgruppen, aus deren Vereinigung die Moleküle der zusammengesetzten Körper hervorgehen, elektrische Ladungen besitzen, die bei den einen positiv, bei den anderen negativ, aber nicht allein bei den zwei Ionen, die zusammen eine Verbindung bilden, sondern auch bei jedem beliebigen Ion dem absoluten Betrage nach gleich grofs sind. Betrachten wir beispielsweise einen bestimmten Körper, etwa das Chlornatrium oder gewöhnliche Kochsalz. Jedes Molekül desselben hat man sich aus einem mit positiver Elektrizität geladenen Atom des Metalls Natrium und einem negativ geladenen Atom des Metalloids Chlor bestehend zu denken; die sogenannte Affinitätskraft, d. h. die Ursache, welche diese Atome zusammenhält, beruht aller Wahrscheinlichkeit nach vor allem auf ihrer wechselseitigen elektrischen Anziehung.

Löst man das Salz in Wasser auf, so wird ein mehr oder minder grofser Bruchteil seiner Moleküle dissoziiert, d. h. in die betreffenden Ionen gespalten; und dieser Teil wächst verhältnismäfsig um so mehr, je verdünnter die Lösung, d. h. je gröfser die zur Auflösung einer bestimmten Salzmenge benutzte Wassermenge ist. Die unaufhörliche Bewegung der freien Ionen, deren kinetische Energie einen Teil der in dem Körper enthaltenen Wärme bildet, mufs zur Folge haben, dafs hier und da freie Ionen miteinander in Verbindung treten und sich zu Molekülen vereinigen, während anderwärts Moleküle in Ionen zerfallen; diese beiden entgegengesetzten Vorgänge gleichen sich jedoch wechselseitig aus.

Gehört die Lösung einem Stromkreise an, in welchem ein elektrischer Strom zirkuliert, so müssen die freien Ionen unter dem Einflusse der elektrischen Kräfte sich an den Elektroden anhäufen; auf der Kathode schlägt sich Natrium, auf der Anode Chlor nieder, während immer neue Moleküle dissoziiert werden; die Elektrolyse dauert unbegrenzt oder wenigstens so lange fort, als ein Strom durch die Flüssigkeit geht. Ist an Stelle des Chlornatriums ein anderes Salz vorhanden, so verhalten sich dessen Ionen ganz analog, und trotz der Verschiedenheit ihrer chemischen Natur sind die elektrischen Ladungen bei allen gemäfs dem zweiten Faradayschen Gesetze identisch mit denjenigen der Ionen des Chlornatriums.

Man wird dadurch, wie Helmholtz bereits im Jahre 1881 gezeigt hat, zu der Schlufsfolgerung geführt, dafs die Ladung eines Ions eine fest bestimmte Elektrizitätsmenge ist, ganz wie das Atom eines beliebigen Körpers ein bestimmtes Quantum jener speziellen Art von Materie darstellt. Und ebenso wie man annimmt, dafs von einer bestimmten Substanz kein kleinerer Teil als das bezügliche Atom existiert, so gelangt man auch zu der Annahme, die Ladung eines Ions sei eine unteilbare Elektrizitätsmenge oder ein Elektrizitätsatom.

Dieser Begriff der elektrischen Atome oder, wie man heute allgemein sagt, Elektronen, schliefst keineswegs, trotzdem es auf den ersten Blick so scheinen könnte, die Annahme in sich ein, dafs das, was wir Elektrizität nennen, eine Art von Materie sein müsse; vielmehr bleibt die Auffassung, dafs das sogenannte elektrische Atom in einem lokalisierten besonderen Zustande der Materie oder des Äthers bestehe, vollkommen zulässig.

Auf alle Fälle wird die Hypothese der mit den materiellen Atomen verknüpften Elektronen durch die Elektrolyse gewissermafsen von selbst nahe gelegt. Die Atome der Materie können sich von den Elektronen lostrennen; dies geschieht bei der Elektrolyse, wobei die Ionen an den Elektroden in sichtbarer Form zu Tage treten. Während die Ionen ihre elektrischen Ladungen verlieren, d. h. sich von den Elektronen, mit denen sie auf gewisse Weise verbunden waren, lostrennen, gehen diese in den Stromkreis über.

Der elektrische Strom selbst galt nach der Hypothese der zwei elektrischen Fluida als eine wirkliche Bewegung der beiden Fluida in entgegengesetzten Richtungen; die unitarische Hypothese nahm eine Strömung des elektrischen Fluidums in einer bestimmten Richtung an. Im Sinne dieser alten Hypothesen wären die Elektronen nichts weiter als bestimmte Mengen des Fluidums, die jedoch in dem Augenblick, in welchem sie in einen metallischen Leiter eintreten und an der Strombildung teilnehmen, ihre individuelle Existenz verlieren und sich mit der in Bewegung begriffenen Gesamtmasse des Fluidums vermischen.

Da es indessen nahe liegt, den Elektronen eine unabhängige Existenz zuzuschreiben, so gelangt man zu der Annahme, dafs dieselben ihre Individualität nicht einbüfsen und dafs deshalb der elektrische Strom in den metallischen Leitern aus einer die ponderable Materie durchdringenden Bewegung freier, d. h. von den

materiellen Atomen losgelöster Elektronen besteht. Auch diese Auffassung läfst übrigens noch die Wahl zwischen den beiden Annahmen, von welchen die eine in dem elektrischen Strom eine Bewegung positiver Ionen in einer Richtung mit einer gleichzeitigen Bewegung negativer Ionen in der entgegengesetzten Richtung erblickt, während die andere nur einer Art von Ionen eine Bewegung in bestimmtem Sinne zuschreibt. Den Vorzug verdient allerdings, so scheint es, die letztere der beiden Annahmen.

So sehen wir denn die alte Theorie der Elektrizität zu neuem Leben erstehen. Allerdings ist sie nicht unverändert geblieben; anstatt eines kontinuierlichen elektrischen Fluidums stellen wir uns jetzt eine grofse Anzahl gleicher, voneinander gesonderter Einheiten vor, die Elektronen, deren innere Natur zunächst noch unbestimmt bleibt. Auch schreiben wir diesen Einheiten nicht mehr die Fähigkeit der Distanzwirkung zu, wie sie nach der alten Theorie das elektrische Fluidum besessen hatte; vielmehr sollen ihre Wirkungen durch Vermittelung des umgebenden Äthers ganz auf die gleiche Weise erfolgen, wie nach der in § 8 und dem vorstehenden Paragraphen skizzierten Maxwellschen Theorie die Wirkungen beliebiger elektrisch geladener Körper.

Durch die Annahme elektrischer Ladungen der Atome läfst sich die Maxwellsche Theorie in der Weise vervollständigen, dafs sie von denjenigen Erscheinungen, welche sie bisher noch nicht zu erklären vermocht hatte, nunmehr ebenfalls Rechenschaft zu geben vermag. Wie schon im Jahre 1880 der holländische Physiker Lorentz[1]) gezeigt hat, läfst sich die Erscheinung der Dispersion, d. h. die Tatsache, dafs Strahlen von verschiedener Schwingungsperiode und mithin von verschiedener Farbe verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeit besitzen, auf Grund der Maxwellschen Theorie durch die einfache Annahme erklären, dafs in jedem Molekül elektrische Ladungen vorhanden sind und dafs nur eine dieser Ladungen in Schwingungen geraten kann, wenn ein Lichtstrahl den Körper durchdringt. Nach Lorentz' Auffassung wäre die Gegenwart der Elektronen geradezu die allgemeine Ur-

[1]) Die Theorie der Elektronen oder geladenen Ionen hat sich erst in den letzten Jahren entwickelt und man kann sogar sagen, dafs sie, zumal durch die Arbeiten von Richarz, Ebert, Wiechert, Kaufmann, Wien, Lenard, des Coudres, Riecke, Drude u. a. in Deutschland, und von Larmor, J. J. Thomson und dessen Schülern in England, noch in fortschreitender Entfaltung begriffen ist.

sache des Einflusses der ponderablen Materie auf die optischen und elektrischen Erscheinungen, wie er sich z. B. in der Verschiedenheit der Dielektrizitätskonstanten bei den verschiedenen Körpern kundgibt.

Der Elektronenbegriff hat in letzter Zeit immer mehr an Bedeutung gewonnen. Mit seiner Hilfe wurden nicht allein die verschiedensten bekannten Tatsachen ohne Schwierigkeit erklärt, sondern derselbe liefs auch neue, noch unbekannte Tatsachen voraussehen, darunter besonders eine von hervorragender Bedeutung, die dann ein Schüler von Lorentz auf experimentellem Wege nachzuweisen vermochte. Es handelt sich hierbei um folgendes.

Innerhalb einer Lichtquelle sind schwingende Elektronen vorhanden: dieselben bringen im Äther eine elektromagnetische Störung hervor, die sich in Form von Wellen durch den Raum ausbreitet; es sind dies die Lichtwellen. Ist die Lichtquelle gasförmig (etwa ein durch Wärmezufuhr zum Glühen gebrachtes Gas), so schwingt jedes Elektron nahezu unabhängig von den übrigen mit einer Eigenperiode, die von der chemischen Natur der Atome abhängt, in deren Nähe sich das Elektron befindet oder mit welchen es verbunden ist. Wir wollen nunmehr annehmen, das schwingende Elektron befinde sich in einem Magnetfelde. Die magnetische Kraft wirkt auf ein in Bewegung begriffenes Elektron ungefähr in der gleichen Weise, wie sie auf einen Strom einwirken würde; dadurch erleidet die Schwingungsperiode des Elektrons eine Veränderung, welche sich berechnen läfst. Für den Fall, dafs das Licht in der Richtung der magnetischen Kraft ausgestrahlt wird, ergibt die Berechnung, dafs das Elektron nicht mehr mit seiner ursprünglichen Periode schwingt, sondern eine Bewegung annimmt, welche mit zwei neuen Schwingungen gleichbedeutend ist, von denen die eine etwas rascher, die andere etwas langsamer vor sich geht als die ursprüngliche Schwingung. Untersucht man also das Spektrum des von der Quelle ausgesandten Lichtes, d. h. betrachtet man das verbreiterte Farbenband, welches beim Durchgang des Lichtes durch ein Prisma entsteht und in welchem jede Lichtart von bestimmter Schwingungsperiode als eine zur Breite des Bandes senkrechte Linie erscheint, so gewahrt man anstatt der einen Linie, die ohne Magnetfeld das Spektrum der Lichtquelle bildete, zwei neue Linien, welche den unter dem Einflufs des Magnetfeldes ausgesandten Schwingungen entsprechen. Mit anderen Worten wird also durch das Magnetfeld die Spektrallinie ver-

doppelt. Den experimentellen Nachweis dieser Erscheinung lieferte Zeeman, der zugleich vermittelst optischer Untersuchungsmethoden feststellte, dafs die Schwingungen, von welchen die beiden Linien herrühren, der Theorie gemäfs kreisförmige Gestalt besitzen. Die schwingenden Teilchen bewegen sich also in kreisförmigen Bahnen, wobei jedoch die der einen Linie entsprechenden im einen, die der anderen entsprechenden im entgegengesetzten Sinne durchlaufen werden. Auch für das senkrecht zu den Kraftlinien des Magnetfeldes ausgestrahlte Licht, sowie für den vom Verfasser dieses Teiles studierten allgemeinen Fall eines beliebigen Winkels zwischen den Kraftlinien des Feldes und der Richtung, in der das Licht ausgestrahlt wird, ergab die Beobachtung, abgesehen von gewissen Komplikationen, welche bei einigen leuchtenden Gasen eintreten, eine vollständige Übereinstimmung mit den Forderungen der Elektronentheorie.

Das Zeemansche Phänomen gewährt ferner die Möglichkeit, das Vorzeichen der Ladung der schwingenden Elektronen zu bestimmen; es zeigt sich, dafs man denselben negative Ladungen zuzuschreiben hat. Damit ist also festgestellt, dafs in einem leuchtenden Körper die negativen Elektronen es sind, welche Schwingungen vollführen, während die positiven Elektronen an der Lichterzeugung anscheinend keinen Anteil haben.

Das Studium des Zeemanschen Phänomens hat aufserdem zu einer angenäherten Bestimmung der Masse, d. h. des Quantums von Materie geführt, welche mit dem negativen Elektron verbunden ist. Als Ausgangspunkt dieser Bestimmung dient die Annahme, das Elektron eines glühenden Gases sei dieselbe Elektrizitätsmenge, die bei der Elektrolyse mit einem Ion verbunden auftritt und die man auf Grund einer ungefähren Schätzung der in einem gegebenen Körper wirklich vorhandenen Anzahl von Atomen bestimmt hat. Von dieser Annahme ausgehend, gelangte man zu dem Schlusse, dafs ein Elektron sich so verhält, wie wenn es eine ponderable Masse besäfse oder mit einer ponderablen Masse verknüpft wäre, die gleich dem tausendsten Teil der Masse eines Wasserstoffatoms ist. Auch auf andere Weise, z. B. aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität in einem der Wirkung der Röntgenstrahlen ausgesetzten Gase, aus den Entladungserscheinungen und noch aus anderen Vorgängen läfst sich die Masse des negativen Elektrons ermitteln. Diese Bestimmungen haben für die Masse der negativen Elektronen Werte ergeben, welche zwischen

dem viertausendsten und dem tausendsten Teil der Masse eines Wasserstoffatoms schwanken. Der Gröfsenordnung nach stimmen dieselben also mit dem aus dem Zeemanschen Phänomen abgeleiteten Werte überein; einen höheren Grad von Übereinstimmung kann man bei derartigen Fragen kaum erwarten.

Auf Grund von Tatsachen, die schon vor einer Reihe von Jahren festgestellt wurden, betrachtet man die Entladung der Elektrizität durch Gase als eine konvektive Erscheinung, d. h. als Folge eines durch die Bewegung geladener Teilchen vermittelten Transportes von Elektrizität; es gelang sogar, die Geschwindigkeit der Teilchen und die von denselben zurückgelegten Bahnen ausfindig zu machen. Für Gase unter Atmosphärendruck hat der Verfasser dieses Teiles den Nachweis geliefert, dafs die Bahnen der elektrisierten Teilchen nicht merklich von den elektrischen Kraftlinien abweichen. Zunächst beschränkte sich dieser experimentelle Nachweis auf die gewöhnliche Zerstreuung der Elektrizität von scharfen Spitzen; später wurde derselbe auch auf die Fälle ausgedehnt, in welchen der Übergang der Elektrizität von dem geladenen Körper auf das Gas, worin ihre Fortpflanzung verfolgt werden soll, durch Glühen des geladenen Körpers oder durch Bestrahlung desselben mit gewissen Lichtarten veranlafst wird; endlich wurde auch die Fortpflanzung der Elektrizität in Gasen, welche von Röntgenstrahlen durchsetzt werden, mit gleichem Erfolge untersucht.

Vorerst nahm man hierbei an, da dies ja am nächsten lag, die bewegten Teilchen seien die Moleküle des Gases selbst, die nach Art kleiner Leiter durch Berührung mit dem geladenen Körper elektrisiert würden. Heute dagegen besteht die Auffassung, die Überführung der elektrischen Ladungen erfolge durch die Bewegung der Ionen oder mit Elektrizität geladenen Atome, oder auch der Elektronen selbst, von denen infolge des beständig zwischen den Molekülen sich vollziehenden wechselseitigen Austausches immer eine gewisse Anzahl sich in Freiheit befindet und somit der Einwirkung des elektrischen Feldes zu folgen vermag. Dafs dann der Elektrizitätstransport den Kraftlinien folgt, hat seine Ursache in den häufigen Zusammenstöfsen der Ionen oder der Elektronen untereinander, oder, was noch öfter eintritt, mit den Molekülen des Gases; wird aber dieses letztere immer weiter verdünnt, so werden die Zusammenstöfse immer seltener, bis schliefslich bei den höchsten Verdünnungsgraden die Elektronen, die dann allein übrig bleiben und die Erscheinung hervorrufen, vollständige

Bewegungsfreiheit erlangen. Für den Fall der Fortführung der Elektrizität von einer beleuchteten Metallfläche hat der Verfasser vermittelst geeigneter Versuche in der Tat den Nachweis geliefert, dafs die von den elektrisierten Teilchen zurückgelegten Bahnen sich mit fortschreitender Verdünnung des Gases stetig verändern; anfänglich fallen sie mit den Kraftlinien zusammen, schliefslich aber verlaufen sie senkrecht zur Oberfläche des Leiters und bilden die sogenannten Kathodenstrahlen, die hiernach nichts anderes sind als die Bahnen der von der Kathode ausgesandten Elektronen.

Läfst man auf die Kathodenstrahlen elektrische oder magnetische Kräfte einwirken, so werden sie, wie vorauszusehen, von ihrer Bahn abgelenkt. Der Betrag dieser Ablenkung wurde, besonders für den Fall des Zusammenwirkens beider Arten von Kräften, sorgfältig gemessen und diente als Grundlage für eine neue Bestimmung der Masse der Elektronen. Die erhaltenen Zahlen zeigen eine befriedigende Übereinstimmung mit den aus dem Zeemanschen Phänomen gewonnenen. Von der Natur des verdünnten Gases, welches in der Röhre, in der die Kathodenstrahlen erzeugt werden, enthalten ist, erweist sich der Betrag der Ablenkung als unabhängig, wie dies in der Tat der Fall sein mufs, wenn die Kathodenstrahlen wirklich aus freien Elektronen bestehen sollen; wären dagegen die Kathodenstrahlen elektrisch geladene Atome der gewöhnlichen Materie, so müfste deren Masse, ganz wie bei der Elektrolyse, für eine bestimmte übergeführte Elektrizitätsmenge je nach der Natur des Gases verschieden ausfallen.

Es besteht heute kaum mehr ein Zweifel, dafs die Fortpflanzung der Elektrizität in einem Gase überhaupt nur durch das Vorhandensein von Elektronen möglich ist. Wenn z. B. ein geladener Körper seine Ladung in der atmosphärischen Luft mehr oder minder rasch verliert, so rührt dies davon her, dafs auch die Luft eine gröfsere oder geringere Menge von Elektronen enthält. Dieselben können von den Gasmolekülen selbst herrühren, von denen sie sich spontan oder infolge des Zusammenstofses der Moleküle mit bereits vorhandenen freien Elektronen abtrennen; aufserdem aber ist als sicher zu betrachten, dafs bei einer Reihe von Vorgängen, wie dem Glühen fester Körper, der Verbrennung, dem Überspringen elektrischer Funken, der Einwirkung von Lichtstrahlen, Röntgen- und Becquerelstrahlen auf ein Gas, sowie noch

auf andere Weise eine mehr oder minder reichliche Bildung von Elektronen stattfindet. Besonders wirksam in dieser Hinsicht sind die Röntgenstrahlen. Mit Hilfe der Elektronen läſst sich daher die Gesamtheit der Entladungserscheinungen und sogar die Bildung der Röntgenstrahlen auf einfache und ungezwungene Weise erklären; in den Röntgenstrahlen hätten wir eine Äuſserung elektromagnetischer Wellen zu erblicken, die nach Art der in der Luft auftretenden Explosionswellen dann entstehen, wenn die Elektronen, welche die Kathodenstrahlen bilden, beim Auftreffen auf ein Hindernis plötzlich angehalten werden. So gering auch die Masse eines Elektrons, so groſs ist dafür seine Geschwindigkeit, und der Stoſs des Elektrons gegen ein Hindernis vermag deshalb eine verhältnismäſsig starke Wirkung hervorzurufen. Hat man doch gefunden, daſs die Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen die Hälfte der Geschwindigkeit des Lichtes erreichen und sogar übertreffen kann.

Überaus bemerkenswert ist der Unterschied zwischen dem Verhalten der positiven und der negativen Ionen, wie er uns in dem Zeemanschen Phänomen entgegentritt und wie er auch den seit langer Zeit bekannten Verschiedenheiten zwischen dem Verhalten der positiven und der negativen Entladung vollkommen entspricht. Die neueren Studien über die Entladungen haben für diese Verschiedenheiten mehrfache Belege geliefert. Die Gesamtheit der Beobachtungen führt zu dem Schlusse, daſs die negativen Ionen freie Elektronen sind, d. h. sich so verhalten, wie es ihre überaus geringe Masse voraussehen läſst, während das Verhalten der positiven Ionen die Vorstellung bestätigt, daſs ihre Masse diejenige der negativen Ionen mehrere tausendmal übertrifft. Im Verein mit der Tatsache, daſs die Masse der positiven Ionen je nach der Natur des Körpers, von welchem sie stammen, verschieden groſs ist, führt das angedeutete Verhalten der positiven Ionen zu der Vermutung, dieselben seien nichts anderes als die materiellen Atome. Die gröſsere Masse der positiven Ionen erklärt auch, weshalb dieselben, wie bereits erwähnt wurde, an der Lichtemission keinen Anteil nehmen.

Auſser den bereits betrachteten Erscheinungen der Elektrolyse, der elektrischen Entladung in den Gasen u. s. w. hätten wir nunmehr auch die übrigen elektrischen Erscheinungen der Reihe nach durchzugehen und zu zeigen, wie die Elektronentheorie dieselben in befriedigender Weise zu erklären vermag. Für das elektrische

Verhalten der Metalle gelingt dies z. B. auf Grund der folgenden Betrachtungen.

Innerhalb der Masse eines Metalles gibt es aufser denjenigen negativen Elektronen, welche mit den Atomen des Metalles verknüpft sind, auch noch andere, die sich von den Atomen vorübergehend losgetrennt haben und sich in dem Raume zwischen den Atomen frei nach allen Richtungen bewegen. Bei dieser Bewegung, die man sich ähnlich wie diejenige der Moleküle eines Gases vorzustellen hat, kann allerdings der Fall eintreten, dafs einzelne Elektronen von Atomen, welche gerade nicht mit solchen verknüpft sind, festgehalten werden; dafür aber werden an anderer Stelle Elektronen von den Atomen, mit welchen sie verknüpft gewesen, losgelassen und es stellt sich ein stationärer Zustand her, in welchem die beiden entgegengesetzten Prozesse einander kompensieren. Beginnt nun eine elektrische Kraft zu wirken, so geraten die negativen Elektronen in eine Bewegung, welche einen elektrischen Strom bildet. Allerdings bewegen sie sich auch ohne eine solche Einwirkung beständig nach Art der Moleküle eines Gases hin und her und übertragen ihre Energie von Atom zu Atom, so dafs ihnen aufser der elektrischen Leitfähigkeit des Metalles auch die Leitfähigkeit desselben für Wärme zuzuschreiben ist. Auch eine Reihe anderweitiger Erscheinungen, wie die Proportionalität zwischen der Leitfähigkeit für Wärme und für Elektrizität, die optischen Eigenschaften der Metalle u. s. w., finden auf Grund der soeben entwickelten Anschauung ihre ungezwungene Erklärung. Entzieht man einem Körper negative Elektronen, so ist dies gleichbedeutend mit einer positiven Elektrisierung desselben; durch Zuführung neuer Elektronen wird ihm eine negative Ladung erteilt. Bestrahlung eines Körpers, besonders mit ultravioletten Schwingungen, hat zur Folge, dafs die Elektronen denselben verlassen; bei gewissen Körpern, wie dem Uran und seinen Salzen, dem Radium u. s. w., die man als radioaktive Substanzen bezeichnet, findet die Aussendung von Elektronen fortwährend statt und ruft die Becquerelstrahlen hervor, welche grofse Ähnlichkeit mit den Kathodenstrahlen besitzen.

Dieser Überblick liefse sich noch weiter ausdehnen; das Gesagte zeigt aber schon zur Genüge, wie vielversprechend die Hypothese der atomistischen Konstitution der Elektrizität ist und welch wertvolle Hilfe man von ihr auf dem Wege erwarten darf, der zu einer intimeren Kenntnis der elektrischen Erscheinungen

führen mufs. Und man wäre schon weit genug, wenn nichts weiter festzustellen bliebe als die Natur der Elektronen.

Diese bildet augenblicklich den Gegenstand mannigfacher Hypothesen. Da die Elektronen Masse besitzen, so sind sie nach der Ansicht einiger Forscher als Atome einer speziellen, von der gewöhnlichen Materie verschiedenen Substanz zu betrachten; damit bezeichnet die Theorie der Elektronen eine teilweise Rückkehr zu gewissen älteren Hypothesen. Was wir negative Elektrizität nennen, besteht hiernach in einem Überschufs an Atomen dieser speziellen, von der Materie verschiedenen Substanz; ein Mangel an Elektrizitätsatomen stellt den positiven elektrischen Zustand dar. Ein positives Elektron ist also nichts weiter als ein wirkliches materielles Atom, das seines negativen Elektrons beraubt ist. Einige Forscher glauben allerdings die geschilderten Erscheinungen nur erklären zu können, indem sie aufser den negativen auch noch von diesen verschiedene positive Elektronen annehmen; nach dem Gesagten ist aber eine derartige Annahme zu entbehren. Überflüssig erscheint es auch, den Elektronen eine wirkliche Trägheit nach Art derjenigen der Materie zuzuschreiben. Da nämlich eine in Bewegung begriffene elektrische Ladung schon vermöge ihrer Bewegung einen gewissen Betrag von elektromagnetischer Energie besitzt, so kann man sich auch vorstellen, dafs die Masse der Elektronen nur eine scheinbare ist. Ja man geht noch weiter; es gibt eine Anschauung, wonach sogar die Atome der ponderablen Materie aus der Vereinigung einer grofsen Zahl von Elektronen hervorgehen und somit die Masse auch der materiellen Atome im Grunde nur etwas Scheinbares ist. Die gewaltige Aufgabe, eine mechanische Erklärung der elektrischen Erscheinungen zu finden, wird damit in ihr Gegenteil verwandelt; den Elektronen ist die Rolle des Urelements zugewiesen und es handelt sich darum, mit ihrer Hilfe zum Verständnis der Erscheinungen des Universums zu gelangen.

Andere wiederum sind der Ansicht, ein Elektron sei ein durch Verdichtung oder Verdünnung oder auf andere Weise verändertes bestimmtes Quantum Äther. Eine Ortsveränderung eines Elektrons kann man sich dann auf zwei verschiedene Arten vorstellen; das Ätherquantum, aus welchem das Elektron besteht, kann sich wirklich bewegen, oder es wird lediglich ein Zustand des Äthers von einer Stelle an eine andere übertragen, ganz wie auch bei der Ausbreitung von Wellen auf einer Wasserfläche nicht das Wasser

selbst, sondern die Gestalt der Oberfläche es ist, welche von Ort zu Ort wandert.

So leicht es aber auch ist, so wenig Nutzen verspricht es, der Phantasie die Zügel schiefsen zu lassen auf einem unerforschten Gebiete, welches vielleicht für lange Zeit noch, wenn nicht auf immer, unzugänglich bleiben wird. Wenden wir uns deshalb wieder den Tatsachen und ihrer unmittelbaren Erklärung zu. Das eingehende Studium der elektrischen Schwingungserscheinungen ist nunmehr unsere Aufgabe, welche mit dem Gegenstande dieses Buches in direktestem Zusammenhange steht. A. Righi.

Zweiter Teil.

Die elektromagnetischen Wellen.

Erstes Kapitel.

Die elektrischen Schwingungen.

---

25. Kontinuierliche und oszillatorische Entladungen *).

Setzt man zwei Leiter von verschiedenem Potential miteinander in Verbindung, etwa vermittelst eines Drahtes, so findet man, dafs sie nach einer mehr oder weniger kurzen Zeit gleiches Potential angenommen haben. Bildet die Erde, deren Potential als konstant gelten darf und als Nullwert des Potentials betrachtet wird, einen der beiden Leiter, so wird auch das Potential des anderen Leiters gleich Null, und wenn keine anderen geladenen Körper in seiner Nähe sind, so verliert er jegliche Ladung. Das Ergebnis der Verbindung mit der Erde ist also in diesem Falle die Entladung des Leiters. Auch wenn die beiden Leiter, die miteinander in Verbindung gebracht werden, die Belegungen eines Kondensators bilden, findet eine Entladung statt, weil die entgegengesetzten Ladungen, welche auf den einander gegenüberstehenden Teilen der beiden Belegungen vorhanden waren, einander gegenseitig zerstören.

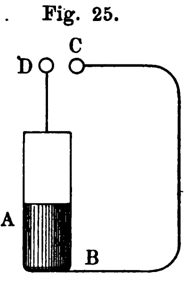
Solange der Vorgang der Entladung andauert, fliefst in dem Draht, welcher die beiden Leiter miteinander verbindet, ein veränderlicher elektrischer Strom; und das gleiche wie von dem Draht gilt auch von den heifsen Gasen, aus welchen der Funke besteht, der zwischen den Enden C und D zweier mit den Belegungen eines

---

*) Die im Text beigefügten Nummern beziehen sich auf die am Ende jedes Kapitels vereinigten Literaturangaben.

Kondensators A (Fig. 25) verbundener Leiter überspringt, wenn man dieselben bis auf eine geringe Entfernung einander nähert. Nur wenn das Verbindungsstück BC eine sehr geringe Leitfähigkeit besitzt, z. B. wenn dasselbe anstatt aus einem Draht aus einem angefeuchteten Baumwollfaden besteht, gelingt es ohne Schwierigkeit, die Enden C und D wirklich miteinander in Berührung zu bringen, bevor die Entladung sich vollzogen hat. In diesem Falle variiert dann auch die Intensität des Entladungsstromes so langsam, dafs derselbe während eines erheblichen Teiles seiner Dauer die Eigenschaften des permanenten Zustandes besitzt.

Fig. 25.



In der Regel findet, wie gesagt, die Entladung statt, bevor die Belegungen in metallische Verbindung miteinander gelangen. Die auf solche Weise erhaltene Entladung ist aber im allgemeinen nicht vollständig, wenn man unmittelbar, nachdem der Funke übergesprungen ist, aufhört, die Leiter C und D einander zu nähern. Überhaupt hält nach dem Einsetzen des Funkens die Entladung nur deshalb noch an, weil für ihr Fortbestehen die ursprüngliche Potentialdifferenz zwischen den Belegungen nicht mehr notwendig ist; die Entladung kann daher fortdauern, bis sich diese Potentialdifferenz erheblich verringert hat. Hat dann der Funke aufgehört, so genügt es, um einen neuen Funken zu erhalten, die Schlagweite CD in gewissem Grade herabzusetzen; eine weitere Verringerung der Schlagweite liefert einen dritten Funken u. s. f.

Bei hinreichend grofsem Widerstand des Verbindungsstückes BC steigt die Intensität des Entladungsstromes beim Überspringen jedes Funkens zuerst von Null bis auf einen Maximalwert und sinkt dann wieder bis zu Null. Diesen Vorgang bezeichnet man als kontinuierliche Entladung. Dabei sinkt die Potentialdifferenz zwischen den Belegungen beständig, aber nicht gleichmäfsig, von ihrem Anfangswerte bis auf Null. Es kann indessen, besonders wenn der Entladungskreis einen sehr grofsen Widerstand besitzt, auch geschehen, dafs nach dem Aufhören der kontinuierlichen Entladung die Belegungen, wahrscheinlich durch die sogenannten Rückstandsladungen, neue, den ursprünglichen entgegengesetzte Ladungen annehmen und dafs hierdurch eine zweite Entladung eintritt, der noch weitere, aber jedesmal schwächere Entladungen folgen können. In seiner Gesamtheit

bezeichnet man diesen Vorgang als intermittierende Entladung.

Ist dagegen der Widerstand des Kreises im Verhältnis zu seiner Selbstinduktion gering, so ändert die Entladung ihren Charakter und nimmt die oszillierende Form an. Man kann sagen, dafs diese Entladung in einem kurz andauernden Wechselstrom innerhalb des Entladungskreises besteht.

Die erste Erkenntnis von der Möglichkeit derartiger Entladungen findet sich im Jahre 1842 bei dem amerikanischen Physiker Henry[1]). Bei der Magnetisierung von Stahlnadeln durch den Entladungsschlag einer Leydener Flasche hatte er gewisse anscheinende Unregelmäfsigkeiten beobachtet. Diese brachten ihn auf die Vermutung, die Elektrizität, die er sich auf Grund der unitarischen Theorie Franklins als ein einziges Fluidum vorstellte, könne nach einem ersten Übergang von einer Belegung der Leydener Flasche auf die andere durch eine Art von Zurückwerfung mit verminderter Stärke in entgegengesetzter Richtung in Bewegung geraten, dann wieder, und zwar abermals mit verminderter Stärke, in der ursprünglichen Richtung, und so fort. Einer ähnlichen Auffassung gab Helmholtz[2]) im Jahre 1847 Ausdruck; aber erst acht Jahre später erkannte William Thomson[3]) die eigentliche Beschaffenheit des Vorganges auf Grund der Induktion, welche die Entladung auf ihren eigenen Stromkreis ausüben mufs. Thomson fand, dafs die Entladung kontinuierlichen oder oszillatorischen Charakter annimmt, je nachdem das Quadrat des Widerstandes im Stromkreise gröfser oder kleiner ist als das Vierfache des Verhältnisses zwischen der Selbstinduktion des Stromkreises und der Kapazität des Kondensators.

Um zum Verständnis des Charakters einer oszillatorischen Entladung zu gelangen, wollen wir dieselbe vom Moment ihres Beginnes an ins Auge fassen. Von einer Belegung des Kondensators zur anderen findet ein Übergang von Elektrizität statt und die Potentialdifferenz zwischen denselben sinkt bis auf Null. Aber der Entladungsvorgang ist damit nicht zu Ende; der Strom bewegt sich in dem Stromkreise noch weiter in derselben Richtung und erteilt den Belegungen Ladungen von entgegengesetztem Vorzeichen wie vorher, bis die Potentiale derselben, die natürlich jetzt ebenfalls von entgegengesetztem Vorzeichen sind, Werte erreicht haben, die nur wenig hinter den anfänglichen zurückstehen. Dann ist die Stärke des Stromes gleich Null; aber alsbald beginnt derselbe

wieder, und zwar in entgegengesetzter Richtung, wobei die jetzt vorhandene Potentialdifferenz zwischen den Belegungen zum Verschwinden gebracht und eine neue Potentialdifferenz von dem Vorzeichen der ursprünglichen erzeugt wird. Auch die Intensität dieses zweiten Entladungsstromes, dessen Richtung derjenigen des ersten entgegengesetzt ist, sinkt schliefslich bis auf Null, und in dem Augenblick, in welchem dies geschieht, ist ein Vorgang zu Ende, den man eine Schwingung nennt. Der Kondensator befindet sich dann wieder im gleichen Zustande wie zu Anfang der Entladung, nur sind seine Ladungen jetzt etwas schwächer. Es beginnt nunmehr eine zweite Schwingung, nach deren Beendigung der Kondensator wiederum in den Anfangszustand zurückgekehrt ist, nur sind seine Ladungen abermals schwächer geworden; und dieser Vorgang wiederholt sich mehr oder minder oft.

Dafs die Selbstinduktion die hauptsächliche Ursache dieser Reihe von Erscheinungen ist, wird verständlich, wenn man bedenkt, dass durch sie die Ströme scheinbar eine Art von Trägheit erhalten. Und in der Tat besteht zwischen der oszillierenden Entladung und der Bewegung einer aufgehängten schweren Masse eine sehr nahe Analogie.

Bei einem einfachen Pendel, welches aus einer an einem Faden hängenden schweren Masse besteht, nimmt die Weite, oder, wie man zu sagen pflegt, die Amplitude der aufeinanderfolgenden Schwingungen durch den Widerstand der Luft und die unvollkommene Elastizität des Fadens immer mehr ab, und die Energie des Pendels verwandelt sich nach und nach in Wärme. Bezeichnen wir in analoger Weise als Amplitude der Schwingungen bei der Entladung den Maximalwert der Potentialdifferenz zwischen den Belegungen, welcher in dem Augenblicke erreicht wird, in welchem der Entladungsstrom verschwindet, so können wir sagen, die Amplitude der elektrischen Schwingungen nehme immer mehr ab, bis die Ladungsenergie des Kondensators sich in Wärme verwandelt hat. Die Amplitude der Schwingungen im Falle des Pendels sinkt um so rascher, oder die Dämpfung ist um so stärker, je grösser der Widerstand, den das Pendel bei seiner Bewegung zu überwinden hat; ebenso ist die Dämpfung der Schwingungen eines Kondensators um so stärker, je grösser der Widerstand des Entladungsstromkreises ist.

Trotzdem aber die Weite der Schwingungen eines Pendels abnimmt, so ist doch die Dauer der aufeinanderfolgenden Schwin-

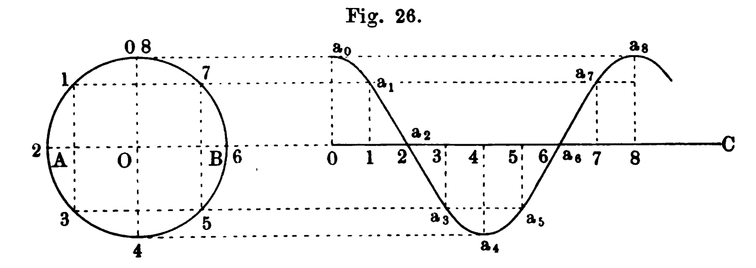
gungen eines Pendels stets die gleiche; oder mit anderen Worten, die Schwingungen eines Pendels sind isochron. Dasselbe gilt von den elektrischen Schwingungen; der Zeitabstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maximal- oder Minimalwerten des Potentials ändert sich auch hier von Schwingung zu Schwingung nicht merklich.

Aus der Theorie der oszillatorischen Entladungen ergibt sich, dafs auch die Intensität des Entladungsstromes nach dem Gesetz der Pendelschwingungen variiert; nur fallen die Maxima der Stromintensität mit den Nullwerten des Potentials zusammen. Die Theorie zeigt ferner, dafs die bekannte Formel, welche die Schwingungsdauer eines Pendels ausdrückt, auch für die Dauer der elektrischen Schwingungen gilt, wenn man an Stelle der Pendellänge die Selbstinduktion des Entladungskreises und an Stelle der Gravitationskonstante den umgekehrten Betrag der Kapazität des Kondensators setzt.

Wie bekannt, unterliegen die einfachen Schallschwingungen den gleichen Gesetzen wie die Pendelschwingungen. Daher bieten die elektrischen Schwingungen, wie mit den Schwingungen des Pendels, so auch mit den Schallschwingungen eine Reihe von Analogieen dar. Die einfache graphische Darstellung, welche sich für das Studium der Schallschwingungen so vorteilhaft erweist, ist auch für das Verständnis des Vorganges der oszillierenden Entladung von grofsem Nutzen.

Wir wollen einen Kreisumfang in eine gewisse Zahl gleicher Teile zerlegen, z. B. in acht (Fig. 26), und die Teilstriche mit aufeinanderfolgenden Nummern bezeichnen; auf der Verlängerung BC

Fig. 26.



eines Durchmessers AB dieses Kreises wollen wir acht gleiche Strecken abtragen, die ebenfalls Nummern erhalten sollen. In jedem der mit den Ziffern 0 bis 8 bezeichneten Punkte wollen wir nunmehr auf der Geraden BC eine Senkrechte errichten,

deren Länge gleich derjenigen der Senkrechten sein soll, die man von dem Punkt des Kreisumfanges, welcher die gleiche Nummer trägt, auf den Durchmesser AB fällen kann. Wie die Abbildung zeigt, erhält man die richtige Länge der Senkrechten auf BC einfach dadurch, dafs man von den Teilstrichen des Kreisumfanges aus die gestrichelten Parallelen zu AC zieht. Die Endpunkte a_0, a_1, ... der Senkrechten sollen dann durch eine zusammenhängende Linie miteinander verbunden werden. Hätten wir den Kreisumfang in eine gröfsere Anzahl von Teilen, z. B. in 16 oder 24 anstatt der 8, zerlegt, so wäre es uns noch leichter, die zusammenhängende Linie zu ziehen und dieselbe würde dann auch noch weniger von der Kurve verschieden sein, welche in der Geometrie den Namen Sinuskurve trägt. Diese Kurve ist übrigens unbegrenzt; man hat sich dieselbe nach beiden Seiten hin fortgesetzt zu denken, wobei sie die unbegrenzt verlängerte Gerade AC in fortlaufenden Windungen kreuzt. Um diese Windungen wirklich zu erhalten, braucht man nur die angegebene Konstruktion beliebig oft zu wiederholen.

Die Sinuslinie bietet ein überaus einfaches Mittel zum Verständnis der Pendelschwingungen. Wir wollen annehmen, die Dauer einer vollständigen Pendelschwingung sei in acht gleiche Zeitabschnitte eingeteilt und die Amplitude der Schwingung, d. h. der gröfste Abstand, bis zu welchem die Masse des Pendels sich von der Gleichgewichtslage (in welcher das Pendel senkrecht hängt) entfernen kann, sei gleich dem Radius OA. Dann bezeichnet die Senkrechte $0\,a_0$ die Entfernung der schwingenden Masse von der Gleichgewichtslage zu Beginn einer Schwingung, $1\,a_1$ bezeichnet diese Entfernung nach dem Zeitraum von einem Achtel der Dauer (oder Periode) einer Schwingung, $2\,a_2$ bezeichnet den Abstand (der in diesem Falle gleich Null ist) nach $^2/_8$ Periode, $3\,a_3$ den Abstand nach $^3/_8$ Periode u. s. f. Wie man sieht, überschreitet das Pendel nach $^2/_8$ Periode die Gleichgewichtslage und erreicht dieselbe erst wieder, nachdem $^6/_8$ der Schwingungsperiode vorüber sind. In diesem Moment ist das Pendel wieder vertikal und nach weiteren $^2/_8$ Perioden erreicht dasselbe die Ausgangsstellung wieder.

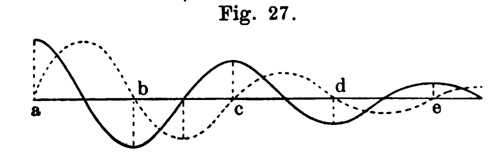
Das alles pflegt man auf folgende Weise kurz auszudrücken. Die auf der Achse AC genommenen Strecken 01, 02 . . . . . nennt man Abszissen der Kurve, den Punkt 0 nennt man Ursprung der Abszissen und die Senkrechten $0\,a_0$, $1\,a_1$ . . . . . Ordinaten der

Kurve. Man kann also sagen, dafs man eine Sinuslinie erhält, wenn man die Zeit als Abszisse und den Abstand des Pendels von der Gleichgewichtslage als Ordinate nimmt; hat man sich dann die Gestalt dieser Kurve und ihre Konstruktion wohl eingeprägt, so besitzt man ohne weiteres ein vollständiges Bild der schwingenden Bewegung des Pendels.

Mit Hilfe der Eigenschaften der Sinuslinie läfst sich auch in wenigen Worten erläutern, worin eine Schallschwingung besteht. Man braucht nur zu sagen, dafs die Entfernung eines Punktes des Körpers, welcher Schallschwingungen vollführt, sich mit der Zeit in derselben Weise ändert, wie die Ordinaten einer Sinuslinie, deren Abszissen die Zeiten sind. Die graphische Darstellung einer Erscheinung ist von grofsem Nutzen und wird sehr häufig angewendet; fast jeder kennt z. B. die Kurven, welche den Verlauf der Temperatur oder den Barometerdruck während eines Tages wiedergeben. In ähnlicher Weise bietet die Sinuslinie die graphische Darstellung der Schwingungen eines Pendels, freilich eines idealen Pendels, dessen Bewegung keinem Widerstand begegnet, durch welchen die Amplitude der aufeinanderfolgenden Schwingungen verringert würde. In Wirklichkeit nimmt diese Amplitude beständig ab, und eine Kurve, wie Fig. 27, in welcher die Ordinaten allmählich kürzer werden, gibt deshalb ein treueres Bild der Pendelschwingungen.

Denkt man sich jetzt, die Ordinaten der zusammenhängenden Kurve Fig. 27 stellten die Potentialdifferenz zwischen den Belegungen eines Kondensators dar, so hat man ein genaues Bild der Änderungen, welche diese Potentialdifferenz im Verlaufe der oszillierenden Entladung erfährt, wobei jedes der gleichen Intervalle ab, bc, cd .... der Dauer einer halben Schwingung entspricht. Eine ähnliche Kurve besteht auch für die Stromintensitäten im Entladungskreis; nur ist dieselbe, da die Nullwerte der Stromstärke den Maximalwerten der Potentialdifferenz und die Maxima der Stromstärke den Nullwerten der Potentialdifferenz entsprechen, gegen die Potentialkurve in der Weise verschoben, wie dies durch die gestrichelte Kurve der Fig. 27 gekennzeichnet ist.

Fig. 27.



Die theoretischen Schlüsse von Thomson erhielten im Jahre

1857 eine experimentelle Bestätigung durch die Arbeiten von Feddersen[4]), denen sich später auch Arbeiten anderer Forscher anschlossen. Es handelt sich dabei um ungemein delikate Experimente, die z. B. auf folgende Weise ausgeführt werden können.

Der Charakter der Entladung ergibt sich aus dem Aussehen, welches der Entladungsfunke während der kurzen Dauer seiner Existenz nacheinander darbietet. Wir wollen annehmen, der Funke springe geradlinig und in horizontaler Richtung zwischen zwei Metallkugeln oder Drähten über; mit Hilfe eines photographischen Objektivs werde ein optisches Bild des Funkens auf eine lichtempfindliche Platte projiziert. Der Funke ist so reich an photographisch wirksamen Strahlen, dafs man trotz seiner ungemein kurzen Dauer eine Photographie von demselben erhält; vielleicht mufs man sogar, um die sogenannte Solarisierung des Bildes zu vermeiden, vor das Objektiv einen Schirm mit kleiner Öffnung setzen.

Wir wollen uns nunmehr denken, die lichtempfindliche Platte befinde sich nicht, wie es gewöhnlich der Fall zu sein pflegt, unbeweglich in dem photographischen Apparat, sondern werde während der Aufnahme des Bildes mit grofser, aber gleichmäfsiger Geschwindigkeit in vertikaler Richtung verschoben. Selbstverständlich wird dann das Bild des Funkens verbreitert und zwar um so mehr, je länger der Funke dauert, so dafs man, wenn man die Geschwindigkeit kennt, mit der die photographische Platte verschoben wird, aus der Verbreiterung des Bildes in vertikaler Richtung auf die Dauer der Entladung schliefsen kann.

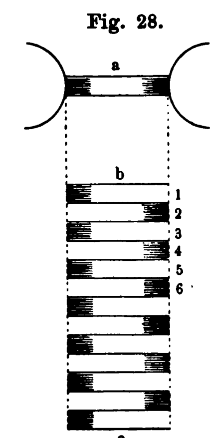
Dies ist jedoch nicht der einzige Zweck derartiger Versuche. Statt die Verbreiterung des Bildes zu messen, wollen wir dasselbe aufmerksam betrachten; wir werden dann folgendes gewahr. Ist der Widerstand des Entladungskreises im Verhältnis zur Selbstinduktion desselben grofs, so zeigt sich in der Richtung, in welcher die photographische Platte verschoben wurde, eine kontinuierliche Abnahme der photographischen Wirkung; wir schliefsen hieraus, dafs das Licht des Funkens vom Beginn bis zum Aufhören desselben fortwährend abgenommen hat. Es ist dies der Fall der kontinuierlichen Entladung.

Bei sehr hohem Widerstand des Schliefsungskreises kann es auch geschehen, dafs das Bild des Funkens in mehrere Teile zerfällt, von welchen jeder Teil für sich den geschilderten Anblick darbietet. In diesem Falle besteht die Entladung aus einer Reihe von kontinuierlichen Teilentladungen; es ist eine intermittierende

Entladung, die sich ihrer Natur nach nicht von der kontinuierlichen Entladung unterscheidet.

Nunmehr wollen wir annehmen, der Entladungskreis besitze einen im Verhältnis zur Selbstinduktion kleinen Widerstand. Dann bietet das verbreiterte Bild des Funkens ein ganz anderes Aussehen dar. Auch jetzt noch erscheint allerdings der Streifen senkrecht zur Richtung, in welcher die photographische Platte verschoben wurde, in mehrere Teile zerlegt, aber alle diese Teile haben ungefähr die gleiche Breite, was bei der intermittierenden Entladung nicht der Fall gewesen war. Dabei sind diese Teile nicht scharf voneinander geschieden; häufig scheint das verbreiterte Bild überhaupt kontinuierlich, und lediglich seine Stärke scheint an den verschiedenen Stellen einem periodischen Wechsel zu unterliegen. Endlich zeigen die Abteilungen, aus welchen sich das Bild des Funkens zusammensetzt, an den beiden Rändern, die den Enden des Funkens entsprechen, ein verschiedenes Aussehen, welches in den aufeinanderfolgenden Abteilungen abwechselnd wiederkehrt. So stellt z. B. in Fig. 28 *a* den Funken, *bc* das verbreiterte Bild desselben dar, wie es auf einer bewegten photographischen Platte entsteht; wie man sieht, setzt sich dasselbe aus einer Anzahl von Abteilungen 1, 2, 3 . . . . . zusammen, von welchen in unserem Falle die ungerade numerierten 1, 3, 5 . . . . . auf der rechten Seite, die gerade numerierten 2, 4, 6 . . . . . auf der linken Seite lichtstärker sind. Nun ist es bekannt, dafs der Funke, besonders zwischen Elektroden aus Zink oder Kadmium, an den beiden Enden verschiedene Helligkeit besitzt. Das Aussehen des auf der bewegten Platte erhaltenen Bildes bestätigt also, dafs während der Entladung der Funke, in gleichen Zeitabschnitten wechselnd, bald am rechten, bald am linken Ende die charakteristische Erscheinung der positiven, beziehungsweise der negativen Elektrode darbietet. An dem photographischen Bilde vorgenommene Messungen gestatten daher, wenn die Geschwindigkeit, mit der die Platte bewegt wurde, bekannt ist, die Schwingungsdauer zu berechnen und mithin zu untersuchen, wie diese Dauer durch Veränderung der Versuchsbedingungen beeinflufst wird.

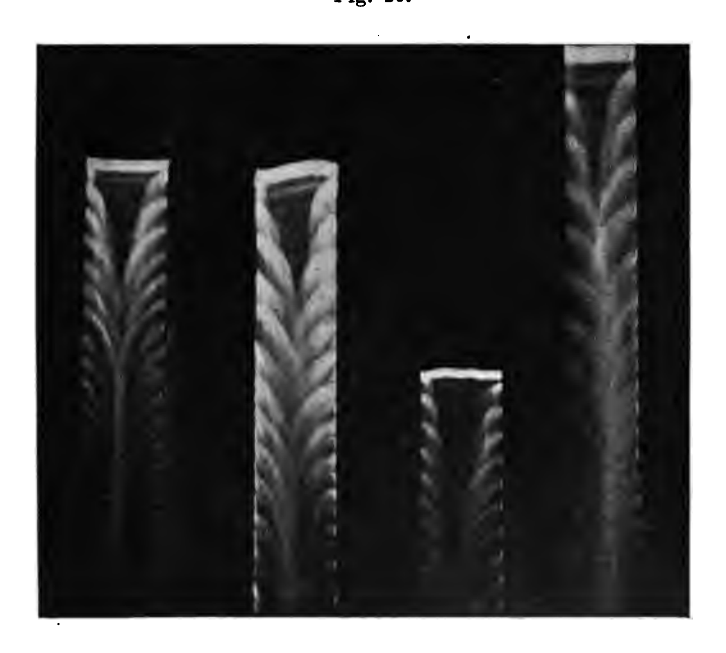
Fig. 28.



In Wirklichkeit wurde allerdings der Versuch nicht immer

in der geschilderten Weise angestellt. Es ist leicht zu begreifen, dafs an dem Versuch nichts Wesentliches geändert wird, wenn die lichtempfindliche Platte anstatt der fortschreitenden Bewegung eine Rotation ausführt, oder wenn die Platte unbeweglich bleibt und statt ihrer das Objektiv des photographischen Apparates

Fig. 29.



verschoben wird, oder endlich, wenn an Stelle des Objektivs ein konkaver Spiegel tritt, welcher bekanntlich ebenso wie eine Linse Bilder zu erzeugen vermag.

Fig. 29 zeigt verbreiterte Bilder oszillierender Funken, die zwischen Elektroden aus Kadmium übersprangen*).

26. Elektrische Schwingungen in Leitern.

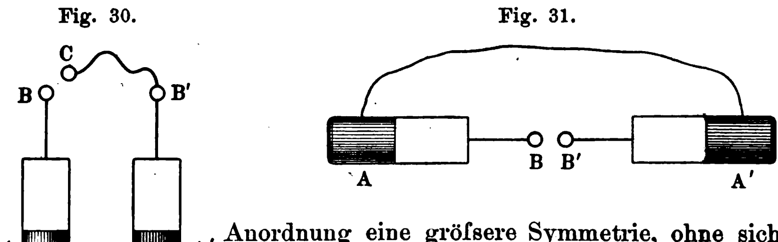
Man erhält die Erscheinung der elektrischen Schwingungen nicht allein mit Hilfe der Entladungen eines Kondensators. Dieselbe läfst sich auch vermittelst sehr verschiedenartiger Versuchsanordnungen hervorbringen, z. B. in einem einfachen Leiter oder in einem System auf verschiedene Weise angeordneter Leiter oder

*) Die Abbildungen sind eine Wiedergabe von Prof. Battelli in Pisa hergestellter Photographieen, die dieser dem Verf. freundlichst überlassen hat.

Kondensatoren. Es wird zweckmäfsig sein, wenn wir in diesem Paragraphen hiervon einige Beispiele geben.

Die im vorstehenden Paragraphen betrachtete Anordnung besteht aus einem Kondensator A (Fig. 25), einem Leitungsdraht BC, welcher die Entladung vermittelt, und dem Funken CD zwischen dem Ende dieses Leiters und der inneren Belegung des Kondensators. Ersetzt man den einen Kondensator durch ein System zweier Kondensatoren AA' (Fig. 30), die in der Weise in Serie vereinigt sind, dafs die äufseren Belegungen miteinander in Verbindung stehen und die inneren Belegungen gleiche Potentiale von entgegengesetztem Vorzeichen erhalten, so gewinnt die

Fig. 30. Fig. 31.



Anordnung eine gröfsere Symmetrie, ohne sich im übrigen von der vorherigen wesentlich zu unterscheiden. Beseitigt man den Draht $B'C$, der in Fig. 30 von der inneren Belegung des einen Kondensators bis in die Nähe der inneren Belegung des anderen führt, so gelangt man zu der in Fig. 31 dargestellten Anordnung. Wir wollen nun annehmen, an Stelle des Glases der beiden Kondensatoren trete eine Luftschicht, deren Dicke immer mehr wachse. Die äufseren Belegungen werden sich dann schliefslich in so grofsem Abstande von den inneren Belegungen befinden, dafs man ihre Wirkung vernachlässigen kann, und es bleibt auf diese Weise nur ein System zweier Leiter AC und BD (Fig. 32), die auf entgegengesetztes Potential geladen werden und im Augenblick der Entladung durch den Funken BC miteinander in Verbindung treten. Ist die schon mehrfach erwähnte Bedingung bezüglich des Verhältnisses von Widerstand, Selbstinduktion und Kapazität erfüllt, so hat die Entladung bei sämtlichen hier beschriebenen Anordnungen oszillatorischen Charakter.

Endlich können wir uns auch vorstellen, dafs der Funke ganz beseitigt ist und die beiden Leiter direkt miteinander verbunden werden, so dafs sie einen einzigen Stab oder Draht bilden, der geradlinig ausgestreckt sein kann, wie AB (Fig. 33), oder beliebig

gebogen wie *CD*. Auch in einem derartigen einfachen Leiter können elektrische Schwingungen vor sich gehen; nur bedarf es zu ihrer Erzeugung in diesem Falle noch anderer Hilfsmittel, weil der Leiter nicht in zwei Hälften geschieden ist, zwischen denen man zunächst wie bei den vorher beschriebenen Anordnungen eine Potentialdifferenz herstellen könnte. Unter dem Namen Oszillatoren und Resonatoren werden uns später Leitersysteme von der in Fig. 32 und 33 dargestellten Art begegnen und wir werden sehen, wie man in denselben elektrische Schwingungen zu stande bringt.

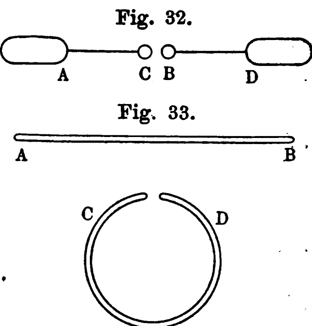


Fig. 32.
Fig. 33.

Dafs die elektrische Entladung unter geeigneten Bedingungen oszillatorischer Natur sein kann, geht übrigens nicht allein aus dem Studium des Funkens hervor; gewisse Versuche über die Entladung von Kondensatoren oder von Leitern, welche mit Kondensatoren in Verbindung stehen, liefern dafür einen indirekten Beweis. Von den hierauf bezüglichen Versuchen des englischen Physikers O. Lodge[5]) mögen einige hier Platz finden.

Die Versuchsanordnung ist ähnlich wie in Fig. 30; nur soll die Verbindung zwischen den äufseren Belegungen der beiden Kondensatoren unterbrochen sein und die von denselben ausgehenden Drähte sollen einander lediglich, wie in Fig. 34, bis auf einen gewissen Abstand genähert werden, so dafs zwischen ihren Enden ein Luftintervall *CC'* bleibt. Gleichzeitig aber soll zwischen den beiden Belegungen eine schlecht leitende Verbindung *DD'* hergestellt werden; eine solche ist nämlich notwendig, damit auf den äufseren Belegungen der Kondensatoren die Influenzladungen entstehen können, wenn die inneren Belegungen mit Hilfe einer elektrischen Maschine auf entgegengesetzte Potentiale geladen werden. In der praktischen Ausführung kann ganz einfach das Holz des Tisches, auf welchem die beiden Leydener Flaschen stehen, die Verbindung *DD'* abgeben; für den angegebenen Zweck reicht diese Verbindung hin, bei einer plötzlich auftretenden Entladung ist sie wie nicht vorhanden.

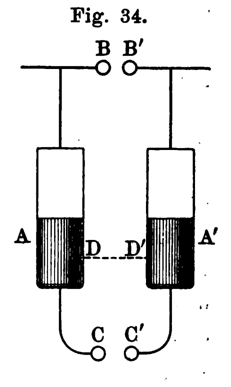


Fig. 34.

Sobald nun zwischen B und B' ein Funke überspringt, tritt auch zwischen C und C' einer auf; das Bemerkenswerte aber ist hierbei, daſs der Abstand zwischen C und C', ohne eine gewisse Grenze zu überschreiten, doch viel gröſser sein kann als derjenige zwischen B und B'.

Der Vorgang wird verständlich, wenn man den oszillatorischen Charakter der Entladung in Betracht zieht. Aus Gründen der Symmetrie müssen die beiden äuſseren Belegungen anfangs das Potential Null besitzen; nach einer halben Entladungsschwingung aber sind die Potentiale der beiden inneren Belegungen vertauscht. Die Ladungen, welche sich auf den äuſseren Belegungen durch Influenz gebildet hatten, werden nicht mehr zurückgehalten; ihnen gegenüber, an der Berührungsfläche mit dem Glase, sind andere Ladungen von entgegengesetztem Vorzeichen entstanden, wodurch die äuſseren Belegungen zwar nicht doppelte, aber doch viel gröſsere Potentialwerte erlangen, als sie ursprünglich die inneren Belegungen besessen hatten. Dadurch erklärt es sich, auf welche Weise zwischen C und C' ein längerer Funke zu stande kommt als zwischen B und B'.

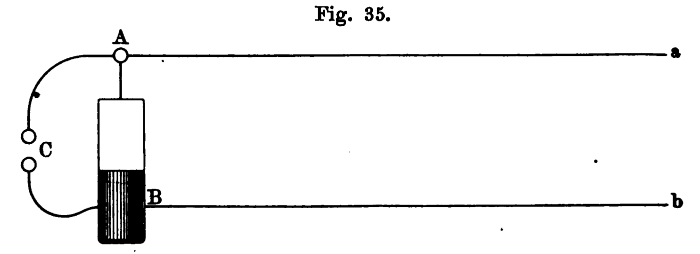
Berührt ein langer Draht mit einem Ende eine der Belegungen eines Kondensators, so muſs dieses Ende in jedem Moment das gleiche Potential besitzen wie die betreffende Belegung, und wenn eine oszillatorische Entladung vor sich geht, so muſs auch das Potential des Drahtendes zwischen positiven und negativen Werten hin und her schwanken. In den entfernteren Teilen des Drahtes dagegen können die Änderungen des Potentials, weil die Fortpflanzung der Elektrizität dorthin eine endliche Zeit beansprucht, nur mit einer gewissen Verzögerung eintreten. So wird z. B., falls der Draht eine geeignete Länge hat, welche, wie wir sehen werden, gleich einer halben Wellenlänge ist, in einem Augenblicke, in welchem das freie Ende des Drahtes den positiven Maximalwert des Potentials erreicht hat, die äuſsere Belegung des Kondensators das Maximum des negativen Potentials erlangt haben, und das Umgekehrte tritt ein, wenn das freie Drahtende eben beim Maximum des negativen Potentials angekommen ist. Längs des Drahtes geht also eine Schwingung vor sich. Vermittelst der folgenden Versuchsanordnung läſst sich dieselbe nachweisen.

Von den Belegungen A und B eines Kondensators (Fig. 35) gehen zwei lange Drähte Aa und Bb aus. In dem Augenblick,

in welchem in C die Entladung des Kondensators stattfindet, zeigt sich, wenn der Versuch im Dunkeln angestellt wird, gegen die freien Enden der Drähte hin eine Lichterscheinung, und sind dieselben nicht zu weit voneinander entfernt, so kann zwischen ihnen auch ein Funke überspringen, dessen Länge diejenige des Funkens in C bedeutend übertrifft.

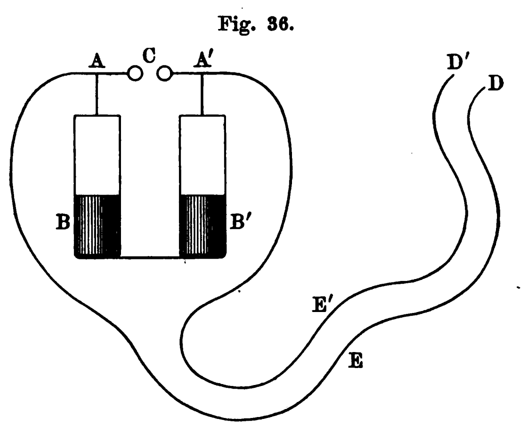
Die in Fig. 36 dargestellte Versuchsanordnung mit zwei Kondensatoren in Serienschaltung ist der vorigen gleichwertig,

Fig. 35.



bietet aber eine gröfsere Symmetrie. In dem Augenblick, in welchem in C der Entladungsfunke überspringt, kann man zwischen zwei Punkten E und E' der langen Drähte einen zweiten Funken erhalten, der länger als derjenige in C zu sein pflegt und zwar um so mehr, je näher die Punkte E und E' den Enden D und D' der Drähte sind. Die Länge dieser letzteren mufs dabei zur Gröfse der benutzten Kondensatoren in Beziehung stehen.

Fig. 36.



Gewisse eigentümliche Erscheinungen, die man beobachtet, wenn das Isoliermaterial eines Kondensators von selbst durch einen Funken durchbrochen wird, finden ihre natürlichste Erklärung durch den oszillatorischen Charakter der Entladung. So geschieht es nicht selten, dafs in dem Augenblick, in welchem man einen Kondensator durch einen beliebigen Leiter hindurch entlädt, das Glas zwischen den Belegungen des Kondensators durchbohrt wird. Sogar wenn der Kondensator ohne Schaden auf ein hohes

Potential geladen und hierauf eine Zeitlang sich selbst überlassen worden war, bis er einen Teil seiner Ladung verloren hatte, kommt es manchmal vor, wenn der Kondensator dann auf gewöhnliche Weise entladen wird, dafs ein Funke das Glas durchbohrt. Während der Entladung mufs sich also für einen Augenblick zwischen den Belegungen des Kondensators eine gröfsere Potentialdifferenz ausgebildet haben als diejenige, welche denselben vorher durch die Ladung mitgeteilt worden war; und da die Durchbohrung des Glases besonders leicht eintritt, wenn mit den Belegungen lange Leiter in Verbindung stehen, so begreift man, dafs die Ursache der Erscheinung in den elektrischen Schwingungen zu suchen ist, welche durch die oszillatorische Entladung in den Drähten geweckt worden sind.

Wenn die Entfernung zwischen den beiden Belegungen über die nicht mit Stanniol bekleidete Glasfläche hinweg nicht zu grofs ist, so erfolgt selten eine Durchbohrung des Glases; dagegen sieht man im Augenblick der Entladung, zumal wenn der Versuch im Dunkeln gemacht wird, wie sich von den Rändern der Belegungen schwach leuchtende Funken über die Glasoberfläche ausbreiten. Statt mit Hilfe der Durchbohrung des Glases lassen sich die Beobachtungen auch auf bequemere und zugleich billigere Weise vermittelst dieser Funken anstellen. Man kann zu diesem Zwecke die Entladungen längs der Glasoberfläche leiten und sie zugleich auf ein schmales Gebiet beschränken, indem man auf das Glas einer Leydener Flasche einen Stanniolstreifen klebt, der von der inneren Belegung *a* (Fig. 37) über den Rand des Glases hinweg bis fast zur äufseren Belegung reicht. Zwischen dem Rande dieser letzteren und dem Ende *c* des Streifens beobachtet man dann die erwähnten Funken.

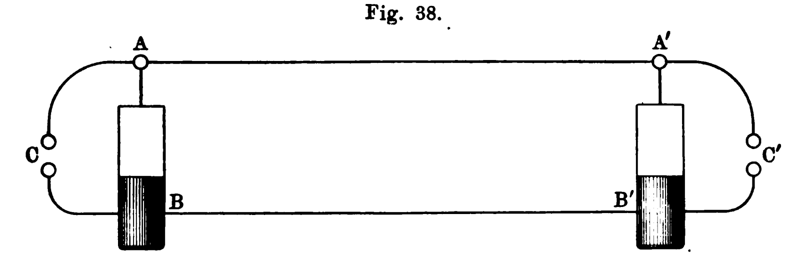
Fig. 37.

Bei dieser Versuchsanordnung kann man den Kondensator anstatt durch einen kurzen Schliefsungsbogen auch durch einen langen Draht entladen; im Augenblick der Entladung sieht man stets auf dem Glase die Fünkchen, deren Erscheinen das Vorhandensein einer Potentialdifferenz beweist, welche die ursprünglich vorhandene übertrifft. Lodge zieht einen glücklich gewählten Vergleich zwischen dieser Erscheinung und dem Verhalten einer Flüssigkeit in einer langen Röhre. Versetzt man die Flüssigkeit auf geeignete Weise in Schwingungen, so kann man es leicht dahin bringen, dafs sie über den Rand der Röhre über-

fliefst; als Überfliefsen (overflow) bezeichnet daher Lodge auch die Entladung längs der Oberfläche des Glases. Dafs die elektrischen Schwingungen in den langen Leitern, welche für die Entladung benutzt werden, auf dieses Überfliefsen wirklich einen Einflufs haben, geht aus dem folgenden Versuche unzweifelhaft hervor.

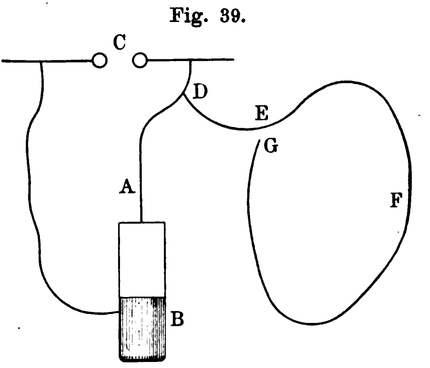
AB und *A'B'* (Fig. 38) sind zwei gleiche Kondensatoren; die inneren Belegungen sind durch einen Draht *AA'*, ebenso die äufseren durch einen Draht *BB'* miteinander verbunden. Die

Fig. 38.



Entladung des Systems kann in *C*, zwischen zwei mit den Belegungen *A* und *B* verbundenen kurzen Leitern, oder in *C'*, zwischen zwei mit *A'* und *B'* verbundenen kurzen Leitern vor sich gehen und man braucht nur das eine der beiden Intervalle etwas kürzer zu machen als das andere, so wird das kürzere von den Entladungen ausschliefslich bevorzugt. Wenn nun die Entladung in *C* stattfindet, so ist an dem Kondensator *AB* nichts Besonderes wahrzunehmen, während zwischen den Rändern der Belegungen *A'* und *B'* das Überfliefsen erfolgt. Werden dagegen die Entladungsfunken durch das Intervall *C'* geleitet, so beobachtet man das Überfliefsen am Kondensator *AB*.

Fig. 39.

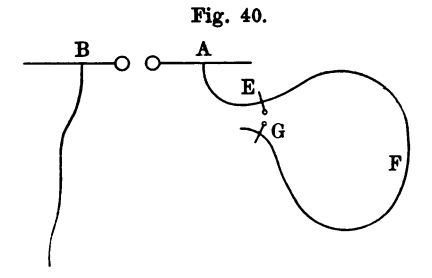


Bei den Versuchen mit den Anordnungen von Fig. 35 und Fig. 36 springen die Nebenfunken zwischen zwei Drähten über, welche mit den entgegengesetzt geladenen Belegungen eines oder mehrerer Kondensatoren in Verbindung stehen; man kann aber einen Funken auch zwischen verschiedenen Teilen eines und desselben Drahtes erhalten, der nur mit einem Ende den Entladungs-

kreis berührt. Es genügt zu diesem Zwecke, einen Kupferdraht *DEFG* (Fig. 39 a. v. S.) so zu führen, dafs sein eines Ende *D* den Entladungkreis eines Kondensators *AB* berührt und dafs das andere, isolierte Ende an einer in der Nähe von *D* befindlichen Stelle *E* nur wenig von dem Drahte entfernt ist. In dem Augenblick, in welchem der Kondensator sich durch einen Funken in *C* entlädt, tritt auch zwischen *G* und *E* ein Funke auf, der etwa die gleiche Länge wie jener erreichen kann.

Dieser Funke zwischen *G* und *E* kommt zu stande, wenn während der Fortpflanzung der elektrischen Schwingungen längs des Drahtes von *D* nach *G* die Punkte *E* und *G* für einen Augenblick Potentiale annehmen, die im Verhältnis zur Gröfse des Intervalls *GE* hinreichend voneinander verschieden sind. Der Versuch läfst sich übrigens, wie es in Fig. 40 angedeutet ist, auch ohne den Kondensator ausführen. *A* und *B* sind zwei entgegengesetzt geladene Metallstangen, etwa die beiden Konduktoren einer Elektrisiermaschine; der eine *B* ist zur Erde abgeleitet, mit dem anderen *A* steht der Draht *EFG* in Verbindung. Ist der Abstand zwischen *E* und *G* im Verhältnis zu demjenigen zwischen *A* und *B* nicht zu grofs, so tritt gleichzeitig mit jedem Funken zwischen *A* und *B* auch einer zwischen *E* und *G* auf. In diesem Falle bewegen sich die elektrischen Schwingungen längs des Systems der beiden Leiter *A* und *B*, deren Anordnung vollkommen derjenigen der Fig. 32 entspricht.

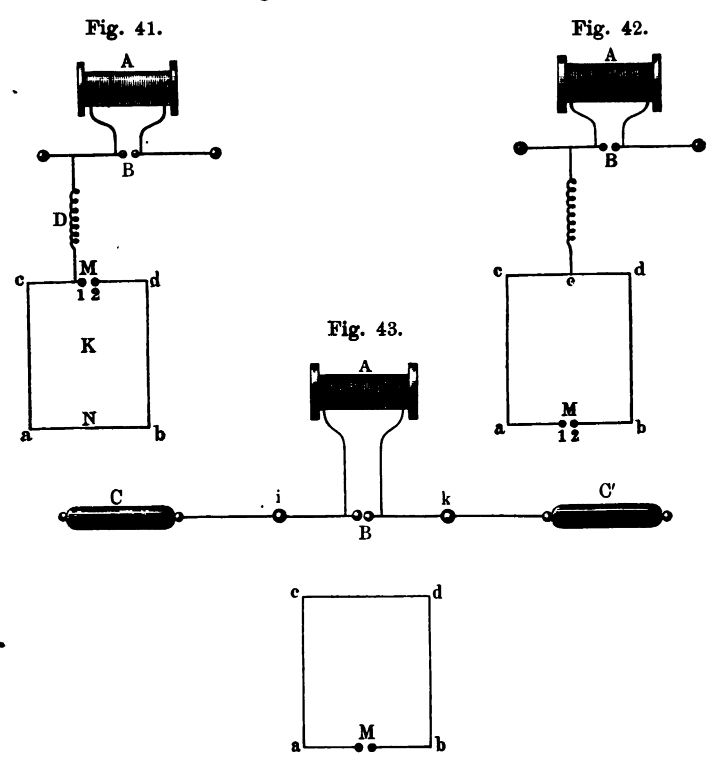
Fig. 40.



Der zuletzt beschriebene Versuch stimmt in der Hauptsache mit einem Versuche überein, den ungefähr zur gleichen Zeit Heinrich Hertz[6]) angestellt hat und der den Ausgangspunkt seiner denkwürdigen Untersuchungen bildete.

Ein in *M* (Fig. 41) unterbrochenes Rechteck aus Kupferdraht, welcher an der Unterbrechungsstelle in zwei kleine Metallkugeln 1 und 2 endigt, steht durch einen Draht *D* mit einer der beiden Metallstangen in Verbindung, zwischen den in *B* die Funken eines Ruhmkorffschen Induktionsapparates überspringen. Berührt der Draht *D* das Rechteck in der Nähe der Unterbrechungsstelle, so tritt jedesmal, wenn in *B* ein Funke überspringt,

auch in M einer auf. Befindet sich die Berührungsstelle zwischen dem Draht D und dem Rechteck nicht in unmittelbarer Nähe des Intervalls M, so muſs der Abstand zwischen den Kugeln 1 und 2 verringert werden, wenn noch Funken auftreten sollen, und je weiter man die Berührungsstelle von M entfernt, desto näher muſs



man die Kugeln 1 und 2 einander bringen, um noch Funken zu erhalten. Ist endlich, wie in Fig. 42, der zum Rechteck gebogene Draht genau in der Mitte seiner Länge mit dem Induktionsapparat verbunden, so kommen in M überhaupt keine Funken zu stande.

Wie Hertz ohne weiteres feststellte, ist das Material, aus welchem das Rechteck besteht, wofern es nur die Elektrizität gut leitet, ohne Einfluſs auf das Gelingen des geschilderten Versuches; dasselbe gilt von der Länge des Verbindungsdrahtes D, wenn man diese nicht gar zu groſs macht. Hertz fand sogar, daſs dieser Draht überhaupt nicht notwendig war und daſs die Funken in M auch erschienen, wenn der Versuch wie in Fig. 43 angeordnet

wurde, d. h. wenn man den Polen des Induktionsapparates das nahezu geschlossene Rechteck in geeigneter Stellung näherte.

Obschon diese letztere Anordnung sich anscheinend nur wenig von derjenigen der Fig. 41 unterscheidet, so bildete doch der in Fig. 43 angedeutete Versuch den ersten Schritt auf dem Wege zur Erkenntnis der elektrischen Resonanz und zur Verwertung derselben für das Studium der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen innerhalb der Luft.

27. Akustische und elektrische Resonanz.

Die Erscheinung der Resonanz oder der sympathischen Schwingungen war bereits im Altertum bekannt. Zwei gleich gestimmte Saiteninstrumente können dazu dienen, die eigentümliche Erscheinung zu zeigen. Wird eine Saite des einen in Schwingung versetzt, so gerät die entsprechende Saite des anderen Instrumentes, auch wenn dasselbe sich in erheblicher Entfernung von dem ersten befindet, von selbst in Schwingung und gibt einen Ton von derselben Höhe wie derjenige des ersten Instrumentes von sich, der noch anhält, nachdem jener bereits erloschen ist. Am leichtesten tritt die Resonanz ein, wenn die Schwingungsperiode oder die Anzahl der Schwingungen in der Sekunde bei beiden tönenden Körpern genau die gleiche ist. Zwar kann der zweite Körper auch in Schwingungen geraten, wenn jene Gleichheit nicht streng erfüllt ist; aber sein Ton bleibt um so schwächer, je mehr die Schwingungsperioden der beiden Körper voneinander abweichen. Je anhaltender die beiden Körper schwingen, desto genauer müssen auch ihre Schwingungsperioden miteinander übereinstimmen. Wenn dagegen die Schwingungen beider Körper rasch verlöschen, oder, wie man zu sagen pflegt, stark gedämpft sind, dann tritt die Erscheinung der sympathischen Schwingungen beinahe mit der gleichen Stärke auf, mögen die Schwingungsperioden der beiden Körper einander gleich oder erheblich voneinander verschieden sein.

Die Erklärung des Mechanismus der akustischen Resonanz wird uns auch die elektrische Resonanz, mit der wir uns in diesem Paragraphen zu beschäftigen haben, ohne weiteres verständlich machen.

Ein Körper, der hinreichend rasche Schwingungen vollführt, erzeugt in der umgebenden Luft kugelförmige Schallwellen nach Art der kreisförmigen Wellen, die auf einer ruhigen Wasserfläche

entstehen, wenn man einen Stein in dieselbe fallen läfst. Diese kreisförmigen Wellen, welche sich von der Stelle aus, an welcher der Stein ins Wasser geworfen wurde, nach allen Richtungen ausbreiten und die schwingende Bewegung bis an die fernsten Stellen der Wasserfläche übertragen, bestehen aus ringförmigen Zonen, innerhalb deren die Wasserfläche nach aufsen gekrümmt ist und höher steht als zuvor das Niveau des ruhigen Wassers, und anderen, mit jenen abwechselnden ringförmigen Zonen, welche nach innen gekrümmt sind und tiefer stehen als die ruhige Wasserfläche. Bei den Schallwellen dagegen wechseln kugelförmige Schichten, innerhalb deren die Luft in gewissem Grade zusammengeprefst oder verdichtet ist, mit kugelförmigen Schichten von verdünnter Luft ab. Wie es bei den Wellen auf der Wasserfläche die Gestalt dieser letzteren ist, welche von Ort zu Ort wandert, und nicht das Wasser als solches, so ist es auch bei der Ausbreitung der Schallwellen nur der Zustand der Luftverdichtung oder Verdünnung, der seinen Ort im Raume verändert, nicht aber die Luft selbst.

Ein von der Wasserfläche getragener Schwimmer, der sich in einiger Entfernung von der Stelle befindet, an welcher die Wellen erzeugt werden, beginnt auf und ab zu schwingen, sobald die Wellen an seinen Ort gelangen; ebenso streben die Schallwellen einen Körper, auf den sie treffen, durch die Druckänderungen, welche sie mit sich bringen, in Schwingungen zu versetzen. Im allgemeinen werden nämlich diese Druckänderungen weder auf der ganzen Oberfläche des Körpers gleichzeitig eintreten, noch auch allenthalben sich mit der gleichen Stärke geltend machen; der Körper mufs deshalb diesen Druckunterschieden nachgeben. Die Stöfse, welche er auf diese Weise empfängt, sind periodischer Art und wiederholen sich in regelmäfsigen Zeitabständen, die der Schwingungsperiode des Körpers gleich sind, von welchem die Wellen ausgehen.

Vermag der Körper, auf welchen die Wellen treffen, Schwingungen auszuführen, und ist seine eigene Schwingungsperiode gleich derjenigen der Wellen, so summieren sich die Wirkungen der aufeinanderfolgenden Anstöfse und rufen in kurzer Zeit in dem Körper eine mehr oder weniger kräftige Schwingungsbewegung hervor. Es ist auch nicht schwer zu verstehen, wieso eine Reihenfolge von Impulsen einen Körper in Schwingung zu versetzen vermag. Man beachte z. B., welche Wirkung aufeinanderfolgende Antriebe auf ein Pendel ausüben. Mit einem leichten Fächer

kann man ein überaus schweres Pendel in Schwingung versetzen, wenn man denselben in dem Rhythmus der Schwingungen bewegt, welches das Pendel selbst auszuführen vermag. Bei dem ersten, wenn auch noch so schwachen Antrieb, den der Fächer durch die Luft auf das Pendel überträgt, bewegt sich dieses ein wenig nach der Seite, vielleicht so wenig, dafs die Bewegung von dem Auge gar nicht bemerkt wird. Nachdem aber das Pendel eine erste Schwingung von überaus kleiner Amplitude vollendet hat, erhält es einen neuen Antrieb in dem Moment, in welchem es seine zweite Schwingung beginnt. Dieser neue Antrieb hat die gleiche Richtung wie die schon vorhandene Bewegung des Pendels und mufs daher diese verstärken. So wird die Amplitude der zweiten Schwingung diejenige der ersten schon etwas übertreffen, und auf gleiche Weise werden auch die nachfolgenden Antriebe, da sie alle im günstigen Moment erfolgen, ihr Teil dazu beitragen, die Amplitude der Schwingungen zu vergröfsern. Fänden dagegen die aufeinanderfolgenden Antriebe nicht im richtigen Moment statt, so würden schliefslich ihre Wirkungen sich gegenseitig vernichten.

Wie im nächsten Kapitel eingehender erläutert werden wird, ruft eine oszillierende Entladung in dem umgebenden Dielektrikum ein System von Wellen wach, die sich mit der Geschwindigkeit des Lichtes durch den Raum ausbreiten. Gleichwie nun die Schallwellen in einem Körper, auf den sie treffen, periodische Druckänderungen erzeugen und ihn dadurch in Schwingung zu versetzen streben, so entstehen durch das Auftreffen elektromagnetischer Wellen alternierende elektrische und magnetische Kräfte von der Periode der elektrischen Schwingung, welche sie hervorgerufen hatte, und diese Kräfte sind im stande, ähnliche elektrische Schwingungen zu erwecken. In welcher Richtung die elektrischen und magnetischen Kräfte innerhalb der Welle wirksam sind, brauchen wir fürs erste noch nicht zu untersuchen, da wir uns von der Erscheinung der Resonanz auch auf Grund der allgemeinen Tatsache Rechenschaft zu geben vermögen.

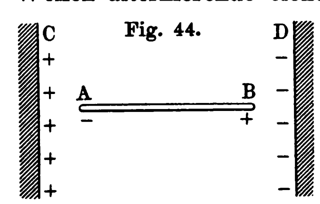


Fig. 44.

Betrachten wir zunächst einen geradlinigen Leiter AB (Fig. 44), der sich zwischen zwei einander parallelen und entgegengesetzt elektrisierten Leitern C und D befinden möge. Könnte man die Ladungen der Leiter C und D plötzlich zum Verschwinden bringen,

so würden die in A und B vorhandenen Influenzladungen sich gegenseitig neutralisieren und dabei, ähnlich wie die Anordnung der Fig. 32, zu elektrischen Schwingungen Veranlassung geben. Diese Schwingungen würden ihre eigene, durch die Selbstinduktion und Kapazität des Leiters AB bestimmte Periode besitzen.

Praktisch ist es jedoch nicht möglich, die entgegengesetzten Ladungen der Leiter C und D mit einem Male zum Verschwinden zu bringen. Setzt man die beiden Leiter miteinander in Verbindung, so tritt in dem System, welches sie miteinander und dem verbindenden Leiter bilden, eine Entladung auf, die je nach den Umständen kontinuierlich oder oszillierend sein kann, und die Influenzladungen auf AB, deren Bestehen ja an die elektrischen Ladungen auf C und D geknüpft ist, werden entsprechende Änderungen erfahren. Ist die Entladung zwischen C und D oszillierender Art, so müssen die Ladungen auf A und B, obschon sie der eigenen Schwingungsperiode des Leiters AB zu folgen streben, doch den Oszillationen des elektrischen Feldes zwischen C und D nachgeben; innerhalb des Leiters AB findet sonach eine erzwungene Schwingung statt. Nehmen wir dagegen an, die Periode der oszillatorischen Entladung des Systems CD sei gleich der Eigenperiode des Leiters AB, so werden die Schwingungen innerhalb des letzteren ihre gröfste Stärke erlangen; zwischen dem System CD und dem Leiter AB besteht elektrische Resonanz.

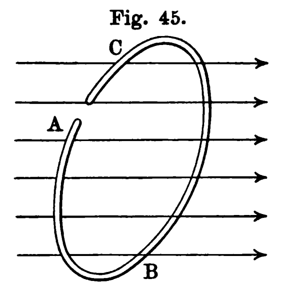
Denken wir uns nunmehr die Leiter C und D fortgenommen und stellen wir uns statt dessen vor, das oszillierende elektrische Feld in der Umgebung von AB sei eine Folge des Vorübergehens elektrischer Wellen, die in einer oszillatorischen Entladung ihren Ursprung haben, so wird ohne weiteres verständlich, dafs diese elektrischen Wellen, falls ihre Periode mit derjenigen übereinstimmt, in der eine Ladung auf dem Leiter AB zu schwingen vermag, in dem letzteren elektrische Schwingungen wachrufen müssen.

Was hier von dem elektrischen Felde gesagt wurde, läfst sich ohne weiteres auch mit Bezug auf das magnetische Feld wiederholen. Ein veränderliches elektrisches Feld ist ja bekanntlich von einem ebenfalls veränderlichen Magnetfeld begleitet, und wo eine Welle vorübergeht, existiert daher gleichzeitig eine elektrische und eine magnetische Kraft, weshalb wir denn auch von einer elektromagnetischen Welle sprechen. Die magnetische Kraft ist ebenso wie die elektrische oszillierender Art und ihre

Periode ist dieselbe, nämlich diejenige der Entladung, aus welcher die Wellen hervorgegangen sind. Das mit den Wellen verbundene oszillierende Magnetfeld mufs nun in einem Stromkreis *ABC* (Fig. 45) alternierende Ströme wachrufen, zumal wenn die (in der Abbildung durch Pfeile angedeutete) Richtung der magnetischen Kraft zur Ebene des Stromkreises senkrecht steht. Ist die Periode der Wellen gleich derjenigen der Eigenschwingungen des Stromkreises, so können die letzteren eine derartige Amplitude erlangen, dafs sie an einer Unterbrechungsstelle *C* des Stromkreises Funken hervorrufen.

Den Leiter *AB* der Fig. 44 nennt man einen geradlinigen Resonator. Der nahezu geschlossene Leiter der Fig. 45 ist ebenfalls ein Resonator und zwar, wenn er die der Abbildung zu Grunde liegende Gestalt hat, ein kreisförmiger Resonator.

Fig. 45.



In diesem letzteren vermag die elektrische Kraft, z. B. wenn sie die Richtung des Durchmessers hat, der zu dem durch die Unterbrechungsstelle des Kreises gehenden Durchmesser senkrecht steht, ebenfalls Schwingungen wachzurufen. Wir werden binnen kurzem erfahren, auf welche Weise die Resonatoren dazu benutzt werden, das Vorhandensein elektromagnetischer Wellen nachzuweisen und ihre Eigentümlichkeiten zu studieren.

Wie bei der akustischen, so ist auch bei der elektrischen Resonanz die strenge Gleichheit zwischen der Periode der Wellen und derjenigen des Resonators kein unbedingtes Erfordernis; aber wenn sie vorhanden ist, erreichen die Schwingungen in dem Resonator ihre gröfste Amplitude. Auch bei den elektrischen Schwingungen ist der Mangel der vollkommenen Gleichheit um so weniger von Einflufs, je gröfser die Dämpfung der Wellen ist. In gewissen Fällen, wie z. B. bei der drahtlosen Telegraphie, zu welcher bis in die letzte Zeit im allgemeinen Schwingungen mit rascher Dämpfung in Anwendung kamen, tritt daher ein Resonator auch unter der Einwirkung von Wellen, deren Periode von seiner eigenen ziemlich verschieden ist, in Tätigkeit.

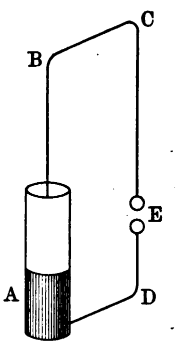
In besonders deutlicher Weise läfst sich die elektrische Resonanz mit Hilfe der folgenden, von Lodge[7]) beschriebenen Versuchsanordnung vor Augen führen.

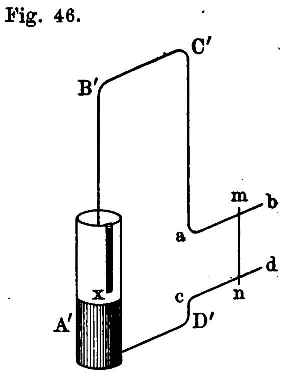
Zwei Kondensatoren *A* und *A'* (Fig. 46) von ungefähr gleicher

Kapazität sind mit zwei metallischen Stromkreisen von annähernd denselben Dimensionen verbunden. Der Entladungskreis *ABCEDA* des Kondensators *A* hat an einer Stelle *E* eine kleine Unterbrechung, ohne welche die Ladung des Kondensators nicht möglich wäre. Dank dieser Unterbrechung kann man den Kondensator laden, indem man seine Belegungen mit einer elektrischen Maschine verbindet; seine Ladung wächst bis zu einem gewissen Grade, worauf in *E* ein Funke überspringt; dann beginnt die Ladung von neuem u. s. f. Infolge des geringen Widerstandes des Entladungskreises und seiner beträchtlichen Selbstinduktion sind die Entladungen unzweifelhaft oszillatorischer Art und besitzen eine bestimmte, von der Kapazität des Kondensators, dem Widerstand und der Selbstinduktion des Entladungskreises abhängige Schwingungsperiode.

Der Stromkreis, der die beiden Belegungen des zweiten Kondensators *A'* miteinander verbindet, ist so eingerichtet, dafs man seine Selbstinduktion leicht verändern kann. Zu diesem Zwecke ist die Seite *C'D'* des Rechtecks unterbrochen und an die beiden Drähte schliefsen sich parallel zueinander in horizontaler Richtung die Fortsetzungen *ab* und *cd*; diese sind durch einen Draht *mn*, den man sowohl gegen *a* und *c* wie gegen *b* und *d* verschieben kann, miteinander verbunden. Je nachdem man *mn* im einen oder anderen Sinne verschiebt, kann man die von dem Stromkreise *A'B'C'mnD'A'* eingeschlossene Fläche und damit dessen Selbstinduktion vergröfsern oder verringern; es läfst sich dadurch leicht erreichen, dafs die Schwingungsperiode des Systems *A'B'C'*... derjenigen des Systems *ABC*... gleich wird.

Fig. 46.





Sobald diese Gleichheit auch nur annähernd hergestellt ist, entstehen infolge jedes Funkens, der in *E* überspringt, in dem System *A'B'C'*..., auch wenn die beiden Apparate mehrere Meter voneinander entfernt sind, durch Resonanz elektrische Schwingungen. Zum Nachweis derselben kann man sich der Erscheinung des Überfliefsens bedienen. Man klebt zu diesem

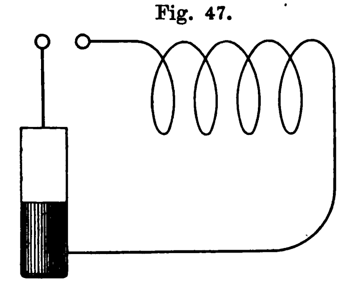
Zwecke über den Rand des Kondensators A' einen Stanniolstreifen, der von der inneren Belegung bis sehr nahe an den Rand der äufseren Belegung führt. Wenn die Entfernung zwischen den beiden Apparaten nicht zu grofs ist, sieht man jedesmal, wenn in E ein Funke überspringt, auch in dem Intervall x ein kleines Fünkchen auftreten, welches das Vorhandensein der Resonanzschwingungen beweist.

Natürlich dient der Funke in x auch dazu, die Stellung des Brückendrahtes *mn* zu regulieren; durch Verschieben im einen oder anderen Sinne findet man eine Stellung desselben heraus, bei welcher das Fünkchen in x am glänzendsten ist, während schon in benachbarten Stellungen das Fünkchen schwächer wird und bald ganz verschwindet. Immerhin aber zeigt es sich, dafs eine Resonanz, wenngleich in schwächerem Grade, auch vorhanden ist, wenn die Schwingungsperioden der beiden Systeme nicht genau die gleichen sind.

Bei der geschilderten Anordnung ist der Widerstand des Stromkreises sehr klein, die Selbstinduktion dagegen bedeutend. Die Dämpfung ist daher verhältnismäfsig gering und eine Entladung setzt sich infolgedessen aus vielen Schwingungen zusammen. Aus diesem Grunde kann die Resonanz nur stattfinden, wenn die Schwingungsperioden der beiden Kreise gleich oder wenigstens nicht sehr voneinander verschieden sind.

Gibt man dem Stromkreis jedes Kondensators die Gestalt einer Schraubenlinie oder Spule wie in Fig. 47, so wird dessen Selbstinduktion noch mehr gesteigert. Es wird dann, wenn Resonanz stattfinden soll, um so notwendiger, dafs die Schwingungsperioden der beiden Systeme nur wenig voneinander abweichen; gleichzeitig wächst die Anzahl der Schwingungen, aus welchen sich jede einzelne Entladung zusammensetzt. Da nun die in Gestalt elektromagnetischer Wellen in den Raum ausgestrahlte Energie notwendigerweise um so geringer ausfällt, je schwächer die Dämpfung der Wellen ist, so kann in Fällen nach Art des vorhin betrachteten, wo eine hohe Selbstinduktion vorhanden ist, die Erscheinung der Resonanz nur bis auf sehr geringe Entfernung zwischen den elektrisch abgestimmten Systemen bemerkbar sein.

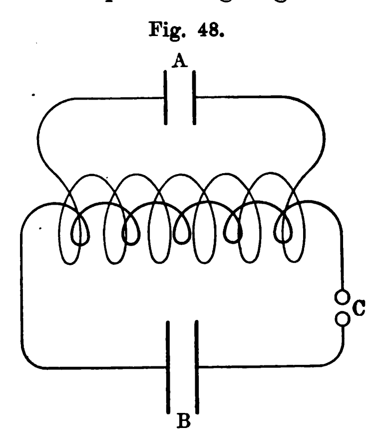
Fig. 47.



Bilden die Stromkreise der beiden Kondensatoren *A* und *B*, wie es in Fig. 48 schematisch dargestellt ist, zwei Schraubenlinien mit gemeinsamer Achse, sind sie etwa die beiden Stromkreise eines Induktionsapparates, so mufs bei jeder Entladung des Kondensators *B* durch den Funken *C* die Resonanz in dem anderen Stromkreise eine Entladung des Kondensators *A*, die z. B. direkt zwischen dessen Belegungen stattfinden kann, zur Folge haben; sind die Schwingungsperioden der beiden Stromkreise genau gleich, so erreichen die Entladungen in *A* ihre gröfste Stärke.

Die beiden Stromkreise können übrigens die gleiche Schwingungsdauer besitzen, ohne dafs die Faktoren, von welchen sie abhängt, also unter anderem die Selbstinduktion und die Kapazität, jede für sich genommen in beiden Stromkreisen von der gleichen Gröfse zu sein brauchen. So kann z. B. die Kapazität des Kondensators *A* viel geringer sein als diejenige des Kondensators *B*, wenn nur der Stromkreis von *A* dafür eine viel gröfsere Zahl von Windungen umfafst als derjenige von *B*; bei genügender Windungszahl des ersteren kann seine Kapazität sogar gänzlich auf den Betrag herabsinken, der durch den zur Spirale gewundenen Leitungsdraht an sich bedingt ist. Man gelangt auf diese Weise zu einer Art von Induktionsapparat, der allerdings eher den Namen Transformator verdient, in welchem die Induktion von den Schwingungen der in dem induzierenden Stromkreise stattfindenden Entladung herrührt. Wie bei dem Ruhmkorffschen Induktionsapparat, so kann auch bei der geschilderten Anordnung die Potentialdifferenz zwischen den Enden des induzierten Stromkreises diejenige, von welcher der induzierende Strom herrührt, also im vorliegenden Falle die Potentialdifferenz zwischen den Belegungen des Kondensators *B*, bei weitem übertreffen. Die Potentialdifferenz in *A* erreicht ihr Maximum, wenn die Resonanzbedingung erfüllt ist.

Fig. 48.



Die in Fig. 48 dargestellte Versuchsanordnung, welche von Tesla und von Elihu Thomson beschrieben wurde, gewährt in

der Tat die Möglichkeit, sehr grofse Potentialdifferenzen und damit entsprechend lange Funken zu erzielen.

Zu den im nächsten Kapitel beschriebenen Versuchen benutzt man eine geradlinige Anordnung, welche der in Fig. 32 dargestellten ähnlich ist; bei einer solchen ist die Selbstinduktion viel geringer und infolgedessen die Dämpfung der Schwingungen bedeutend stärker. Jede Entladung umfafst daher nur wenige, vielleicht nicht mehr als vier oder fünf Schwingungen von rasch abnehmender Amplitude; infolge ihrer starken Dämpfung vermögen die auf solche Weise erzeugten Wellen selbst in Resonatoren, deren Schwingungsperiode von ihrer eigenen um ein Bedeutendes abweicht, Schwingungen anzuregen. Von dieser, mehrfache Resonanz genannten Erscheinung wird weiterhin die Rede sein. A. Righi.

Literaturangaben.

1) J. Henry, Scientific Writings, Bd. 1, S. 201.
2) H. Helmholtz, Die Erhaltung der Kraft.
3) W. Thomson, Philosophical Magazine, Bd. 5, S. 393 [1853].
4) Feddersen, Pogg. Ann., Bd. 103, 108, 112, 113, 116.
5) O. Lodge, Proc. Roy. Soc. June 1891.
6) H. Hertz, Wied. Ann., Bd. 31, S. 421 [1887].
7) O. Lodge, Nature, Bd. 41, S. 368 [1890].

Zweites Kapitel.

Die elektrischen Wellen.

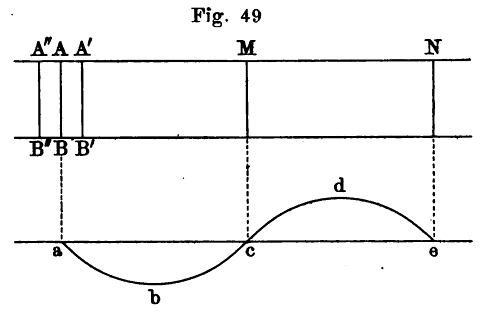
28. Die Ausbreitung der elektrischen Wellen.

Um die Erscheinung der elektrischen Resonanz verständlicher zu machen, hatten wir uns eines Vergleiches mit der Resonanz der Schallschwingungen bedient; in ähnlicher Weise wird uns auch bei der Betrachtung der Ausbreitung der elektrischen Wellen der Vergleich mit der analogen akustischen Erscheinung von Nutzen sein.

Der Einfachheit halber betrachten wir zunächst die Bildung von Wellen in einer Luftsäule, die in ein langes Rohr einge-

schlossen ist. Die Luft werde in Schwingungen versetzt durch einen Kolben *AB* (Fig. 49), der nach Art eines Pendels zwischen den Stellungen *A'B'* und *A''B''* hin und her schwinge. Das heifst, der Kolben soll sich, von der Stellung *A''B''* aus, zuerst mit zunehmender Geschwindigkeit bis *AB* und dann mit abnehmender Geschwindigkeit weiter bis *A'B'* bewegen. Damit hat er eine halbe Schwingung zurückgelegt; eine ganze Schwingung wird vollendet, indem der Kolben nunmehr über *AB* wieder nach *A''B''* zurückkehrt. Zur Erleichterung des Verständnisses wollen wir uns die Zeit, welche der Kolben zu einer Schwingung beansprucht, in eine Reihe kleiner Abschnitte zerlegt denken; wir wollen annehmen, der Übergang des Kolbens aus der Stellung, die er zu Anfang eines dieser Zeitabschnitte einnimmt, in die Stellung, in welche er am Ende des betreffenden Zeitabschnittes gelangt, finde jedesmal ganz plötzlich statt, und wir wollen untersuchen, welche Wirkung diese unvermittelten Bewegungen in der Luft hervorbringen.

Fig. 49



Während des ersten kleinen Zeitabschnittes verdichtet der Kolben die vor ihm befindliche Luft; infolge der Zusammendrückbarkeit, welche die Luft in hohem Mafse besitzt, ist die Verdichtung am stärksten in unmittelbarer Nähe des Kolbens und wird mit wachsender Entfernung von dem Kolben immer geringer. Aber die Luft ist auch vollkommen elastisch und darum dehnt die komprimierte Luftschicht sich wieder aus und überträgt die Verdichtung auf eine ihr benachbarte Luftschicht, von welcher sie dann an die nächste Schicht weiter gegeben wird, u. s. f. Die Verdichtung, welche durch die unvermittelte Bewegung des Kolbens hervorgerufen worden war, gibt sich also nacheinander in immer weiter von dem Kolben entfernten Regionen der Röhre kund.

Diese durch die Elastizität der Luft vermittelte Ausbreitung einer Druckänderung wird durch den nachfolgenden wohlbekannten Versuch leichter zu verstehen sein. Eine Anzahl von Elfenbeinkugeln seien an Fäden in einer Reihe so aufgehängt, dafs sie sich

gegenseitig berühren, und man lasse die am einen Ende befindliche Kugel, nachdem man sie aus ihrer Gleichgewichtslage entfernt hat, gegen die benachbarte Kugel fallen. Nur die eine Kugel, welche das andere Ende der Reihe bildet, gerät in Bewegung, weil die durch den Stofs der ersten gegen die zweite Kugel verursachte Formänderung infolge der Elastizität des Materials sich durch die ganze Reihe hindurch bis zur letzten Kugel fortpflanzt. Ein ähnlicher Versuch läfst sich mit einer Anzahl gleicher Münzen anstellen, die man so in eine Reihe auf einen Marmortisch legt, dafs sie sich gegenseitig berühren. Entfernt man die am einen Ende der Reihe befindliche Münze ein wenig aus ihrer Lage und schnellt sie dann wieder zurück, so wird nur die am anderen Ende befindliche Münze fortgeschleudert und die übrigen bleiben unbeweglich, obschon sie die elastische Deformation vom einen Ende der Reihe zum anderen übertragen hatten. Ganz ebenso hat man sich auch den Vorgang in der Röhre zu denken. Während aber die erste Kompression in der Röhre fortschreitet, findet in dem zweiten kleinen Zeitabschnitt eine zweite und zwar stärkere Kompression statt, dann eine dritte u. s. f.; wenn der Kolben in $A'B'$ angelangt ist, sind die durch seine Bewegung hervorgerufenen Kompressionen über eine Strecke $A'M$ der Röhre verteilt. Während der zweiten Hälfte der Schwingung bewegt sich der Kolben, wie bereits gesagt wurde, von $A'B'$ nach $A''B''$; dabei entstehen Luftverdünnungen, die den Luftverdichtungen nachfolgen und ebenso wie diese durch die Röhre fortschreiten. Wenn der Kolben seine Schwingung vollendet hat, sind die Luftverdünnungen über eine ungefähr bis M reichende Strecke verteilt, während die Verdichtungen weiter fortgeschritten sind und eine Strecke von M bis zu einer Stelle N erfüllen, die doppelt so weit als M von dem schwingenden Kolben entfernt ist. In diesem Augenblick ist also die Luft innerhalb der Röhre in der einen Hälfte der Strecke AN verdichtet, in der anderen verdünnt; ausgenommen hiervon sind nur die Enden der Strecke und die Mitte M. Die stärkste Verdichtung befindet sich in der Mitte zwischen M und N, die stärkste Verdünnung in der Mitte zwischen M und dem schwingenden Kolben; der Zustand der Luft in den übrigen Teilen der Röhre liegt zwischen diesen Extremen. Am Schlusse einer vollständigen Schwingung sind also die verschiedenen Zustände, welche die Bewegung des Kolbens während dieser Schwingung nacheinander durchlaufen hat, in dem Mehr oder

Minder des Druckes innerhalb der Röhre von A bis N gewissermafsen aufgezeichnet. Vollführt dann der Kolben eine zweite Schwingung, so pflanzt sich der geschilderte Zustand der Luft innerhalb der Röhre über eine zweite, der ersten gleiche Strecke fort, während in der ersten die gleichen Erscheinungen sich wiederholen; Ähnliches findet während einer dritten Schwingung statt u. s. f. Die Strecke AN, über welche sich die Wirkung der Bewegung des Kolbens in der Zeit ausbreitet, die dieser zu einer vollständigen Schwingung beansprucht, heifst Wellenlänge. Nach zwei oder drei vollständigen Schwingungen gelangen die geschilderten Druckänderungen offenbar bis zu einer Entfernung von dem Kolben, die das Doppelte bezw. Dreifache der Wellenlänge beträgt. Die Entfernung, bis zu welcher die Wirkung der Schwingungen in einer Sekunde fortschreitet, oder mit anderen Worten die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schwingungen ergibt sich also, indem man die Wellenlänge mit der Anzahl von Schwingungen multipliziert, die der Körper in einer Sekunde vollendet.

Diese wichtige Beziehung ist für jeden Fall einer Ausbreitung durch Wellen von grundlegender Bedeutung; sie gilt deshalb auch für die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen.

Kehren wir nun nochmals zur Luftsäule der Fig. 49 zurück. Um uns eine klare und genaue Vorstellung von dem Zustande zu verschaffen, in welchem sich die Luft an den verschiedenen Stellen der Röhre befindet, während der Kolben AB zu schwingen fortfährt, wollen wir auf einer zur Achse der Röhre parallelen Geraden ae eine Anzahl von Senkrechten errichten, und zwar soll die Länge einer jeden Senkrechten dem Unterschied zwischen dem Luftdruck, welcher an der betreffenden Stelle der Röhre in dem betrachteten Augenblick wirklich vorhanden ist, und dem normalen Luftdruck entsprechen. Verbindet man dann die Endpunkte aller dieser Senkrechten durch eine zusammenhängende Linie, so ergibt sich eine Kurve $abcde$, welche den Zustand der Luft in der Röhre für den Augenblick darstellt, in welchem der Kolben seine erste Schwingung vollendet hat. Haben diese Schwingungen denselben Charakter wie die Bewegung des Pendels, so ist die Kurve die bekannte Sinuslinie. Trägt man rechts von. $abcde$ ein zweites, diesem gleiches Kurvenstück auf, so erhält man ein Bild des Zustandes der Luft in der Röhre nach einer zweiten Schwingung. Ähnliches gilt für den Zustand nach einer dritten Schwingung u. s. f.

Durch Verschiebung der Kurve parallel zur Achse der Röhre um eine Strecke, die gleich der Wellenlänge *ae* ist, wird offenbar nichts geändert; um den Zustand der Luft nach zwei oder drei Schwingungen kennen zu lernen, genügt es daher, dafs man sich die Kurve *abcde* nach der linken Seite von *a* entsprechend verlängert und hierauf um das Zweifache, bezw. das Dreifache des Intervalls *ae* nach rechts verschoben denkt.

Diese Darstellung eignet sich übrigens nicht allein für die Momente, in welchen der Kolben *AB* gerade eine Schwingung vollendet hat; sie ist ebenso für jeden anderen Augenblick zu gebrauchen. Wir gelangen so zu dem Schlufs, dafs die nach beiden Seiten entsprechend verlängerte Kurve *abcde*, wenn man sie sich mit einer konstanten Geschwindigkeit, welche der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen gleich ist, von links nach rechts fortbewegt denkt, durch ihre Ordinaten den in einem beliebigen Augenblick an irgend einer Stelle der Röhre vorhandenen Grad der Verdichtung oder Verdünnung der Luft kennzeichnet. Es wird dadurch auch verständlich, dafs bei der Fortpflanzung der Wellen der Zustand vermehrten oder verminderten Druckes es ist, welcher sich im Raume fortbewegt, und nicht die Luft selbst.

Dafs auch die Luftteilchen sich bewegen, wird damit keineswegs in Abrede gestellt. Bewegungen derselben sind sogar notwendig, weil sonst die abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen überhaupt nicht möglich wären; aber die Teilchen schwingen nur um die Stelle, welche sie vor dem Durchgang der Wellen eingenommen hatten.

Die Schallwellen bestehen in derartig miteinander abwechselnden verdichteten und verdünnten Luftschichten, die sich von dem Körper aus, der sie durch seine Schwingungen erzeugt hat, durch den Raum ausbreiten.

Denkt man sich an Stelle einer schwingenden Scheibe oder eines Kolbens wie in Fig. 49 eine Kugel, welche Schwingungen vollführt, indem sie ihren Durchmesser verändert, d. h. sich in regelmäfsigen Zeitabschnitten ein wenig ausdehnt und zusammenzieht, so bekommt man eine Vorstellung von den durch dieselbe erzeugten kugelförmigen Wellen, bei welchen ganz einfach die Prozesse, die in dem vorher betrachteten Falle auf eine Richtung beschränkt gewesen waren, sich in allen Richtungen abspielen. Ein Unterschied zwischen dem vorigen und dem jetzt betrachteten Falle besteht nur insofern, als bei diesem selbstverständlich die

Amplitude der Druckschwankungen mit zunehmendem Radius der Welle geringer werden mufs.

In unmittelbarer Umgebung der tönenden Körper, wie sie in Wirklichkeit vorkommen, trifft man allerdings keine kugelförmige Welle, auf der sich in einem gegebenen Augenblick die Luft allenthalben in dem gleichen Zustande befindet; aber in hinreichend grofser Entfernung von dem tönenden Körper besitzen die Schallwellen im allgemeinen nahezu die Gestalt, die wir im Beispiel der schwingenden Kugel vorausgesetzt hatten.

Um die im Vorstehenden entwickelten Grundsätze auf die elektromagnetischen Wellen anzuwenden, wollen wir als einfachsten Fall die Wellen betrachten, die von einer geradlinig oszillierenden Entladung ausgehen, wie sie von einem System zweier nach Art der Fig. 32 angeordneter Leiter erzeugt werden kann. Vorläufig

Fig. 50.

wollen wir annehmen, es finde keine Dämpfung statt und die Dauer der Schwingungen sei unbegrenzt. Und da für unsere Betrachtung besonders von Interesse ist, was in grofser Entfernung vom Ursprung der Wellen stattfindet, so dürfen wir die beiden entgegengesetzt geladenen Leiter A und B (Fig. 50), zwischen denen die oszillatorische Entladung erfolgt, als zwei einander sehr nahe Punkte betrachten. Ferner wollen wir uns zunächst darauf beschränken, zu untersuchen, was längs einer Geraden Ox vor sich geht, welche in der Mitte zwischen A und B auf der A und B miteinander verbindenden Geraden senkrecht steht. Besitzt nun in einem gegebenen Augenblick während des Verlaufes der oszillierenden Entladung der Leiter A eine positive und B eine negative Ladung, so hat die elektrische Kraft in einem Punkte M der Geraden Ox etwa die Gröfse MF und ist parallel zu AB gerichtet. Derselbe Betrag der elektrischen Kraft war einen Augenblick vorher an einer zwischen M und AB gelegenen Stelle vorhanden gewesen und wird einen Augenblick später an einer rechts von M befindlichen Stelle vorhanden sein. Errichtet man ebenso in allen Punkten der Geraden Ox gerade Linien, welche zu Ox senkrecht stehen und deren Gröfsen den Werten der an den betreffenden

Stellen in einem bestimmten Moment wirksamen elektrischen Kraft entsprechen, so bilden die Endpunkte dieser Senkrechten zusammen die bekannte Sinuslinie. Um zu erfahren, wie sich die elektrische Kraft mit der Zeit ändert, braucht man sich dann nur diese Sinuslinie von links nach rechts mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen fortbewegt zu denken.

Einen wichtigen Punkt haben wir jedoch hierbei unberücksichtigt gelassen; wir meinen die Tatsache, dafs die elektrische Kraft bei ihrer Fortpflanzung längs der Geraden Ox an Intensität verlieren mufs. Wir haben uns daher die Sinuslinie in der Weise abgeändert zu denken, dafs ihre Ordinaten bei ihrem Fortschreiten längs der Geraden immer kleiner werden.

Um das mit Bezug auf die Schallwellen Gesagte auf die elektromagnetischen Wellen übertragen zu dürfen, braucht man also, wie wir sehen, lediglich an Stelle des Luftdruckes die elektrische Kraft zu setzen.

Eine elektrische Schwingung besteht aber, wie wir wissen, nicht allein in einer Änderung elektrischer Ladungen, sondern sie stellt auch einen alternierenden Strom dar; gleichzeitig mit der periodisch veränderlichen elektrischen Kraft erzeugt sie also auch eine magnetische Kraft, die denselben Veränderungen unterliegt. Die oszillierende Entladung in AB (Fig. 50) ruft daher in M gleichzeitig mit der elektrischen Kraft MF auch eine magnetische Kraft hervor, die nach dem in § 16 Gesagten auf der von den Geraden Ox und AB gebildeten Ebene, also auf der Ebene der Zeichnung, senkrecht steht. Eine ähnliche Kurve wie diejenige der Fig. 50, die man sich aber in einer zur Zeichnung senkrechten Ebene zu denken hat, so dafs ihre Projektion auf die Zeichnung in die Gerade Ox fällt, stellt deshalb für einen gegebenen Moment die Verteilung der magnetischen Kraft längs der Geraden Ox dar. Nimmt man ferner an, dafs sich diese Kurve mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen längs Ox von links nach rechts verschiebe und dafs dabei, wie wir dies bezüglich der elektrischen Kraft gesehen hatten, die Ordinaten der Kurve immer kleiner werden, so erhält man zugleich eine Vorstellung von den zeitlichen Veränderungen der magnetischen Kraft.

Die beiden Kurven, nämlich die in Fig. 50 dargestellte, welche sich auf die elektrische Kraft bezieht, und die auf die magnetische Kraft bezügliche, die man sich in einer zur ersteren senkrechten

Ebene zu denken hat, stehen zueinander in einem besonderen Zusammenhang: die gröſsten Ordinaten der einen befinden sich immer an den Stellen, an welchen die Ordinaten der anderen gleich Null sind. In der Tat wechselt in dem Augenblicke, in welchem die Ladungen der beiden Leiter dem absoluten Betrage nach am höchsten gestiegen sind, der von einem Leiter zum anderen flieſsende Strom seine Richtung und es muſs daher einen Moment geben, in welchem die Intensität dieses Stromes gleich Null, d. h. in welchem überhaupt kein Strom vorhanden ist. Deshalb ist auch gerade in den Momenten, in welchen die elektrische Kraft den stärksten absoluten Betrag erlangt, die magnetische Kraft gleich Null. Umgekehrt erreicht gerade, wenn die Ladungen verschwinden, der Strom seine gröſste Intensität und die magnetische Kraft ist also dem absoluten Betrage nach am stärksten in den Augenblicken, in welchen die elektrische Kraft gleich Null ist.

Die elektrische und die magnetische Kraft pflanzen sich übrigens nicht nur längs der Geraden Ox fort, sondern auch in jeder anderen Richtung, welche von jener Geraden beliebig abweicht. Beschränken wir unsere Betrachtung auf die Vorgänge an Stellen, deren Entfernung von dem System AB im Vergleich mit den Dimensionen dieses letzteren als groſs gelten darf, so finden wir allenthalben, daſs die elektrische und die magnetische Kraft zueinander und zu der Richtung, in der sich an der betreffenden Stelle die Wellen fortpflanzen, senkrecht stehen. Bei gleichem Abstand von AB ist die Intensität der beiden Kräfte um so geringer, je gröſser der Winkel ist, den die betrachtete Fortpflanzungsrichtung mit der Geraden Ox einschlieſst; hiervon abgesehen sind aber die beiden Kräfte längs jeder Fortpflanzungsrichtung in jedem Moment in ähnlicher Weise verteilt wie auch längs der Geraden Ox.

Besitzt man eine klare Vorstellung von den Schallwellen, so kann man sich nach dem Gesagten auch von den durch die elektrische Schwingung AB erzeugten kugelförmigen elektromagnetischen Wellen leicht eine Vorstellung machen, indem man an Stelle des Luftdruckes den Betrag der elektrischen oder der magnetischen Kraft setzt.

Von der Dämpfung der elektrischen Schwingungen des Systems AB hatten wir bisher ganz abgesehen; wir hatten vorausgesetzt, die nacheinander von demselben ausgesandten Wellen seien alle von gleicher Stärke und erzeugten an einer Stelle des

Raumes, an welcher sie vorbeikamen, den Pendelschwingungen analoge Änderungen der elektrischen und magnetischen Kraft. In Wirklichkeit jedoch ist eine Dämpfung vorhanden und bei einem System von Leitern, wie wir es angenommen hatten, ist sie sogar sehr stark ausgeprägt. Im Gefolge einer einzelnen Entladung wird deshalb überhaupt jedesmal nur eine sehr beschränkte Zahl von Wellen ausgesendet, und die Amplitude, d. h. der während einer Schwingung von der elektrischen oder der magnetischen Kraft erreichte Maximalwert, nimmt von jeder Schwingung zur nächstfolgenden ab. An einer beliebigen Stelle des Raumes, welche von den Wellen berührt wird, werden deshalb die Maximalwerte der im Gefolge einer Entladung auftretenden oszillatorischen Kräfte beständig sinken.

Von Dämpfung freie elektrische Schwingungen lassen sich mit Hilfe mechanischer Mittel an Stelle der oszillierenden Entladungen gewinnen. Schwingt längs der Geraden AB ein kleiner mit Elektrizität geladener Körper nach Art eines Pendels hin und her, so entstehen elektromagnetische Wellen, ganz wie eine oszillatorische Entladung, die aber frei von Dämpfung wäre, sie hervorbringen würde. In der praktischen Ausführung lassen sich freilich auf diese Weise nur Wellen von aufserordentlich viel längerer Periode gewinnen, als man sie vermittelst oszillatorischer Entladungen zu erhalten pflegt; die Zahl der Schwingungen, die ein mechanisch bewegter Apparat in einer Sekunde vollführen kann, bleibt nämlich notwendigerweise viel geringer und die Wellenlänge ist entsprechend gröfser als bei den vermittelst oszillatorischer Entladungen erzeugten Schwingungen. Da aber anderseits, wie wir demnächst sehen werden, der Nachweis der elektromagnetischen Wellen und das Studium ihrer Eigenschaften nur bei kleinen Wellenlängen möglich ist, so bietet das mechanische Verfahren im allgemeinen, wenigstens fürs erste, keinen praktischen Nutzen.

29. Interferenz und stationäre Wellen.

Bevor wir zur Beschreibung der klassischen Versuche von Hertz übergehen, erscheint es zweckmäfsig, der Interferenz und den stationären Wellen, welche beim Zusammentreffen zweier Wellensysteme von gleicher Periode auftreten, eine nähere Betrachtung zu widmen. Auch hierbei wird ein Vergleich der elektromagnetischen Erscheinungen mit den uns geläufigeren Vorgängen

ähnlicher Art, die durch mechanische Kräfte hervorgerufen werden, von Nutzen sein. Wie im Falle der Resonanz, bei welcher der Vergleich mit den Schallwellen ohne weiteres nahe lag, werden wir auch hier zunächst die Interferenz der Schallschwingungen und die stationären Schallwellen betrachten.

Zwei tönende Körper *A* und *B* (Fig. 51) mögen Schwingungen von gleicher Periode, gleicher Amplitude und gleicher Phase aussenden; d. h. wir wollen annehmen, die Schwingungszahlen der beiden Körper in der Sekunde seien die gleichen, die Schwingungen beider Körper seien von gleicher Amplitude und die Luft werde von beiden Körpern genau in den gleichen Momenten verdichtet oder verdünnt. Dann ergibt sich ohne Schwierigkeit, dafs an gewissen Stellen des Raumes die Luft unbeweglich bleiben wird, wie wenn keiner von den beiden Tönen vorhanden wäre, wogegen an anderen Stellen des Raumes die von beiden tönenden Körpern gemeinsam bewirkten Veränderungen stärker sein werden als die von einem der Körper für sich allein hervorgerufenen.

Fig. 51.

A B C D

In der Tat müssen z. B. an einem Punkte *C*, der von *A* und *B* gleich weit entfernt ist, die von den beiden Körpern *A* und *B* ausgehenden Luftverdichtungen oder Verdünnungen gleichzeitig eintreffen und ihre Wirkungen müssen sich daher gegenseitig summieren. Dasselbe gilt von einem Punkte *D*, der zwar von *A* und *B* ungleich weit entfernt, aber so gelegen ist, dafs seine Entfernung von einem der beiden tönenden Körper diejenige von dem anderen um eine ganze Wellenlänge oder um zwei, drei ganze Wellenlängen u. s. w. übertrifft. Auch an diesem Punkte müssen nämlich die beiden Wellensysteme mit gleicher Phase eintreffen, d. h. sie müssen in den gleichen Momenten Verdichtungen oder Verdünnungen der Luft hervorrufen. Man kann deshalb sagen, dafs an allen Stellen des Raumes, deren Lage eine derartige ist, dafs der Unterschied zwischen ihren Entfernungen von *A* und *B* entweder gleich Null ist oder eine ganze Anzahl von Wellenlängen beträgt, die Wirkungen der beiden Wellensysteme sich gegenseitig verstärken werden. Alle diese Stellen bilden zusammen gewisse Flächen, welche in der Geometrie den Namen Hyperboloide tragen; eine Vorstellung von denselben gewinnt man aus der Gestalt ihrer Schnitte mit einer die Punkte *A* und *B* enthaltenden

Ebene. Diese Schnitte, die in Fig. 52 (a. f. S.) durch ausgezogene Linien dargestellt sind, heifsen in der Geometrie Hyperbeln; die beiden Punkte *A* und *B* sind die gemeinsamen Brennpunkte derselben; die Flächen selbst erhält man, wenn man sich die ganze Figur um die Gerade *AB* als Achse in Drehung versetzt denkt.

Kehren wir nunmehr zur Fig. 51 zurück und betrachten wir einen Punkt *D*, der diesmal so gelegen sein soll, dafs seine Entfernungen von den beiden Punkten *A* und *B* sich um eine halbe Wellenlänge oder um drei, um fünf halbe Wellenlängen u. s. w. voneinander unterscheiden. An einem derart gelegenen Punkte müssen die Wirkungen der beiden Wellensysteme sich gegenseitig vernichten und das Ohr wird dort überhaupt keinen Schall wahrnehmen, während an der gleichen Stelle ein Schall auftritt, sobald einer der beiden tönenden Körper beseitigt wird.

An der betrachteten Stelle *D* treffen nämlich die von *A* und *B* ausgehenden Wellensysteme notwendigerweise mit entgegengesetzten Phasen ein; während das eine etwa in *D* eine Luftverdünnung hervorzurufen strebt, würde durch die Wirkung des anderen gerade eine Luftverdichtung entstehen. Allerdings sind die beiden Wirkungen nicht genau gleich stark, denn der Punkt *D* ist ja von den Ausgangspunkten *A* und *B* der beiden Wellensysteme ungleich weit entfernt und diese haben daher auf dem Wege bis nach *D* ungleiche Bruchteile ihrer Intensität eingebüfst; solange aber die Entfernungen *DA* und *DB* nicht zu sehr voneinander verschieden sind, dürfen wir diesen Umstand vernachlässigen. Der Druck der Luft an einer Stelle, deren Lage derjenigen des Punktes *D* entspricht, bleibt daher dauernd derselbe, wie wenn die beiden tönenden Körper nicht vorhanden wären. Alle diese Stellen, an welchen die beiden Töne sich gegenseitig vernichten, oder mit anderen Worten, an welchen I n t e r f e r e n z stattfindet, gehören einer Schar von Hyperboloiden an; den Durchschnitt derselben durch eine die Gerade *AB* enthaltende Ebene stellen die gestrichelten Kurven der Fig. 52 dar; es sind, wie die ausgezogenen Kurven derselben Figur, Hyperbeln mit *A* und *B* als gemeinsamen Brennpunkten.

Diese hyperbelförmigen Interferenzlinien lassen sich auf sehr einfache Weise erhalten, indem man eine ausgespannte Leinwandfläche von genügender Gröfse mit Sand bestreut und an zwei Stellen mit Hilfe zweier tönender Körper von gleicher Schwingungszahl transversale Wellen auf derselben erzeugt. Der Sand

wird dann durch die Schwingungen der Leinwand emporgeschleudert und sammelt sich vorzugsweise längs einer Schar von Hyperbeln, welche die Interferenzlinien der beiden Wellensysteme bilden[1]).

Wir wollen nunmehr die Punkte *m*, *n*, *p*, *q* . . . ., in welchen die Kurven der Fig. 52 von der Geraden *AB* geschnitten werden, etwas näher betrachten. Für die Punkte *n*, *q* . . . . ist der Unterschied der Entfernungen von *A* und von *B* jedesmal gleich einer ganzen Anzahl von Wellenlängen; bei den Punkten *m*, *p* . . . . dagegen ist der Unterschied der Entfernungen von *A* und von *B* gleich einer halben Wellenlänge oder gleich drei, fünf halben Wellenlängen u. s. w. Der Abstand zwischen zwei benachbarten Punkten der Reihe *m*, *n*, *p*, *q* . . . . beträgt sonach je ein viertel Wellenlänge.

Fig. 52.

Pflanzen sich also längs einer und derselben Geraden, aber in entgegengesetzter Richtung, zwei Wellensysteme von gleicher Periode fort, so findet man auf dieser Geraden gewisse Stellen *n*, *q* . . . ., an welchen die Schwingungen sich miteinander summieren, und zwischen denselben andere Stellen *m*, *p* . . . ., an welchen sie sich gegenseitig vernichten. Die ersteren heifsen Schwingungsbäuche, die letzteren Schwingungsknoten, und die Entfernung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Knoten oder zwei aufeinanderfolgenden Bäuchen beträgt eine halbe Wellenlänge.

Während also ein einzelner tönender Körper Wellen erregt, die sich nach allen Richtungen ausbreiten und das ganze Medium, welches ihre Fortpflanzung vermittelt, in Schwingungen versetzen, die an verschiedenen Stellen sich lediglich durch ihre Phase unterscheiden, bringt ein System zweier gleich schwingender Körper einen stationären Zustand hervor; dieser ist dadurch charakterisiert, dafs Zonen, an welchen beständige Ruhe herrscht, und Zonen, die unaufhörlich in Bewegung begriffen sind, miteinander abwechseln. Mit dem Namen stationäre Wellen pflegt man allerdings nur den Zustand zu bezeichnen, der längs einer Geraden, wie *AB*, durch Wellen hervorgebracht wird, welche sich längs derselben in entgegengesetzten Richtungen fortpflanzen.

Stationäre Schallwellen sind im Grunde nichts anderes als Eigen-

schwingungen eines tönenden Körpers. Oder mit anderen Worten: Der Ton, den z. B. die Luftsäule einer Orgelpfeife von sich gibt, hat seine Ursache darin, dafs sich innerhalb der Luftsäule Wellen von gleicher Schwingungszahl in entgegengesetzter Richtung fortpflanzen. Eines der beiden Wellensysteme hat seinen Ursprung im Mundstück der Pfeife, das andere entsteht durch Zurückwerfung am Ende derselben.

Wäre anstatt der zwei Körper A und B der Fig. 52 nur ein einziger, etwa A, vorhanden, und würden dafür die von demselben ausgesandten Wellen an einer Fläche CD nach den Reflexionsgesetzen zurückgeworfen, so würden die reflektierten Wellen sich in der Richtung gegen A bewegen und sich (abgesehen von einer Phasenänderung, die unter gewissen Umständen eintritt) ganz so verhalten, wie die im zuvor betrachteten Falle von dem Körper B ausgesandten. In der Tat entstehen auch durch das Zusammenwirken der von A gegen die zurückwerfende Wand gesandten mit den von dieser zurückgeworfenen Wellen stationäre Wellen, deren Bäuche an den Stellen n, q . . . . und deren Knoten an den Stellen m, p . . . . liegen.

Stellt man einen tönenden Körper vor einer grofsen senkrechten Wand auf, welche die Wellen zurückzuwerfen vermag, so läfst sich die Bildung der Schwingungsknoten und Bäuche ohne Schwierigkeit nachweisen und ebenso läfst sich zeigen, dafs die Stellen, an welchen sie sich befinden, genau den theoretischen Forderungen entsprechen.

Die Erscheinung der stationären Wellen ist eine unmittelbare Folge des Schwingungscharakters der Schallphänomene und sie bildet zugleich einen neuen Beweis für denselben. Würde man z. B. den eben beschriebenen Versuch anstellen und das Vorhandensein der Bäuche und Knoten an bestimmten Stellen des Raumes nachweisen, so würde, auch wenn dies nicht bereits anderweitig bekannt wäre, durch diesen Versuch allein schon festgestellt sein, dafs der Schall von regelmäfsigen schwingenden Bewegungen herrührt. Das Auftreten stationärer elektromagnetischer Wellen, mit deren Entstehung wir uns demnächst beschäftigen werden, hat demnach die gleiche Beweiskraft.

Anderseits würde der Versuch mit den stationären Schallwellen vollkommen unverständlich bleiben, wenn der Schall sich nicht mit einer bestimmten Geschwindigkeit fortpflanzte. Die Lage der Knoten und Bäuche ist ja durch gewisse Bedingungen gegeben,

in welchen die Zeit eine Rolle spielt, und stationäre Wellen wären deshalb unmöglich, wenn der Schall sich augenblicklich auf jede beliebige Entfernung mitteilte. Das Auftreten stationärer elektromagnetischer Wellen bildet also gleichzeitig einen Beweis dafür, dafs die elektrischen und magnetischen Kräfte nicht augenblicklich durch den Raum hindurch in die Ferne wirken.

Bestimmt man ferner unabhängig voneinander die Zahl der Schwingungen, die ein tönender Körper in der Sekunde ausführt, sowie die zugehörige Wellenlänge, welche, wie wir gesehen haben, doppelt so grofs ist wie die Entfernung zwischen zwei benachbarten Knoten oder Bäuchen, und endlich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles, so findet man das Fundamentalgesetz bestätigt, nach welchem das Produkt aus der Wellenlänge und der Schwingungszahl die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ergibt. Der gleiche Nachweis läfst sich auch mit Bezug auf die elektromagnetischen Wellen führen; oder man kann zum mindesten, wenn von den erwähnten drei Gröfsen zwei bekannt sind, mit Hilfe des obigen Gesetzes die dritte berechnen.

Die alten Fernwirkungstheorien fufsten auf der Annahme, dafs die elektrischen und magnetischen Kräfte ihre Wirkung augenblicklich auf jede beliebige Entfernung äufsern. Nach der Maxwellschen Theorie dagegen müssen diese Kräfte sich rings um ihren Ursprungsort mit einer gewissen Verzögerung bemerkbar machen, die zu der Entfernung zwischen jenem und der Stelle, an der wir ihre Wirkung betrachten, in direktem Verhältnis steht. Oder mit anderen Worten: Nach der Maxwellschen Theorie verbreiten sich die elektrischen und magnetischen Kräfte durch den Raum mit einer gewissen Geschwindigkeit, die, wie sich weiter ergibt, mit derjenigen des Lichtes übereinstimmt. Für diesen Grundgedanken der Maxwellschen Theorie haben die Hertzschen Versuche, zu deren Beschreibung wir nunmehr übergehen, die unmittelbare Bestätigung geliefert; hierin liegt ihre ungeheure Bedeutung für die Wissenschaft.

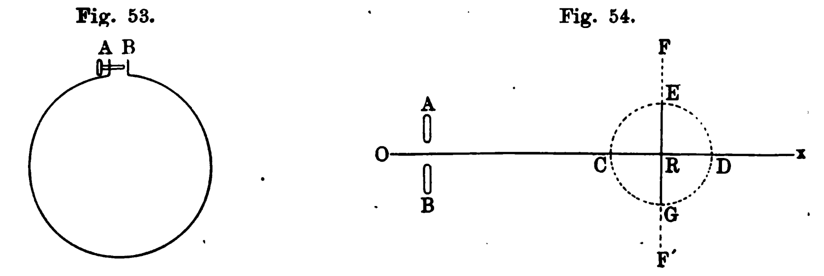
30. Die Hertzschen Versuche[2]).

Bei dem in Fig. 43 dargestellten Versuche waren in der Unterbrechungsstelle *M* des nahezu geschlossenen Drahtrechtecks Fünkchen aufgetreten, auch wenn die Verbindung zwischen demselben und den Polen des Induktionsapparates vollständig unterbrochen war. Durch geeignete Abänderung der Dimensionen des Rechtecks

erkannte Hertz, dafs bei einer bestimmten Gröfse desselben die Länge der Fünkchen in M ein Maximum erreichte und dafs die hierfür erforderlichen Dimensionen des Rechtecks sich mit der Gröfse und Gestalt der beiden Leiter, zwischen welchen die Funken des Induktionsapparates übersprangen, änderten. Damit war jeder Zweifel hinsichtlich der Ursache der Erscheinung beseitigt. Stand nämlich das Rechteck durch einen Draht mit einem jener Leiter in Verbindung, so hatte der Funke in M seine Ursache offenbar in einer Potentialdifferenz, die durch die Zeit bedingt war, welche die Fortpflanzung der elektrischen Störung längs des Leiters beanspruchte; ebenso mufste deshalb, auch wenn zwischen dem Rechteck und den übrigen Teilen des Apparates keine Verbindung bestand, der Funke von einem längs des Drahtes veränderlichen elektrischen Zustande herrühren. In dem einen wie in dem anderen Falle mufste es sich um eine periodische Störung handeln, die von der oszillatorischen Entladung zwischen den vom Induktionsapparat mit entgegengesetzten Elektrizitäten geladenen Leitern ausging; denn der Funke in M trat ja am leichtesten dann auf, wenn das Rechteck eine bestimmte Gröfse hatte; und wahrscheinlich mufsten seine Dimensionen derartige sein, dafs die elektrische Störung dasselbe während der Zeitdauer einer halben Schwingung der oszillatorischen Entladung gerade durchlaufen konnte. In diesem Falle mufste nämlich zwischen der Entladung und dem Vorgang im Rechteck Resonanz stattfinden. Zwischen den beiden in Fig. 41 und Fig. 43 dargestellten Versuchen konnte demnach nur insofern ein Unterschied bestehen, als bei dem ersteren die Übertragung der elektrischen Störung von den Leitern, zwischen denen sich die oszillatorische Entladung vollzog, bis zu dem Rechteck hauptsächlich durch Leitung längs des Drahtes D erfolgte, während bei der in Fig. 43 skizzierten Anordnung diese Verbindung fehlte und somit das Dielektrikum die Störung übertragen haben mufste. Die nahe Analogie dieses Vorganges mit der bekannten Erscheinung der sympathischen Schallschwingungen ist nicht zu verkennen: an Stelle des unmittelbar in Schwingung versetzten tönenden Körpers tritt das System der beiden Leiter, zwischen welchen die Entladungen übergehen, und das Drahtrechteck spielt die Rolle des zweiten Körpers, der mit der gleichen Periode wie der erste zu schwingen vermag und durch die von diesem ausgesandten Schallwellen zum Tönen angeregt wird. Dieser Vergleich läfst die Bezeichnung Erreger oder Oszillator für den Apparat, der die elektro-

magnetischen Wellen erzeugt, und die Bezeichnung **Resonator** für das Drahtrechteck, welches durch die infolge einer Resonanzerscheinung in ihm auftretenden Fünkchen die Gegenwart der elektromagnetischen Wellen verrät, durchaus passend erscheinen. Wie wir alsbald sehen werden, dient der Resonator ferner zum Nachweis dieser Wellen und zum Studium ihrer Eigenschaften.

Das eine Ende des Drahtes, welcher den Resonator bildet, trägt eine kleine metallene Kugel oder Scheibe, das andere eine Schraube, welche gegenüber der Kugel oder Scheibe in eine Spitze



endigt. Zwischen dieser und der Kugel oder Scheibe springen die Fünkchen über, und die Länge derselben kann durch Bewegen der Schraube bequem variiert werden. In der Regel verwendete übrigens Hertz anstatt des rechteckigen Resonators einen kreisförmigen (Fig. 53), der gleichfalls mit der eben beschriebenen Vorrichtung versehen war und sich zum Studium der Eigenschaften der vom Resonator ausgesandten Wellen besser eignet. Wie wir schon jetzt bemerken wollen, fanden sich diese Eigenschaften in vollständiger Übereinstimmung mit den Folgerungen, zu denen wir in § 28 an der Hand der Fig. 50 gelangt waren. Gehen wir nunmehr zur Beschreibung der Versuche über.

Der Oszillator besteht aus zwei Leitern A und B (Fig. 54), welche durch einen Induktionsapparat oder eine Influenzmaschine entgegengesetzte Ladungen erhalten und zwischen denen die oszillatorische Entladung stattfindet. Der kreisförmige Resonator befindet sich mit seinem Mittelpunkt R auf der Geraden Ox, welche in der Mitte O auf der Verbindungslinie von A und B senkrecht steht; im übrigen kann der Resonator verschiedene Orientierungen erhalten. Die Entfernung zwischen R und O soll so grofs sein, dafs sowohl das elektrische wie das magnetische Feld in dem ganzen von dem Resonator eingenommenen Raume als ziemlich gleichförmig gelten darf.

Zunächst wollen wir annehmen, ein Durchmesser CD des Resonators befinde sich auf der Geraden Ox und dessen Ebene stehe senkrecht zu AB. Dann treten in dem Resonator keine Fünkchen auf, selbst wenn man den Abstand zwischen seinen Enden so klein als möglich macht. Nach dem in § 28 Gesagten ist dies ohne weiteres verständlich. Die elektrische Kraft an der Stelle R hat nämlich die Richtung FF' und kann deshalb in dem Draht des Resonators keine oszillierenden Ladungen erwecken; anderseits steht die magnetische Kraft an der gleichen Stelle senkrecht zur Ebene der Zeichnung; ihre Kraftströmung durch die von dem Resonator eingeschlossene Fläche ist also gleich Null und dasselbe gilt mithin von der Induktion, welche der Draht des Resonators erleidet.

Wir wollen nunmehr den Resonator so drehen, dafs seine Fläche zwar noch immer zur Ebene der Figur senkrecht bleibt, aber die zum Oszillator parallele Lage EG einnimmt. Dann treten in demselben — vorausgesetzt, dafs die Unterbrechungsstelle sich weder in E noch in G befindet — Funken auf, die ihre gröfste Länge erreichen, wenn die Unterbrechungsstelle des Resonators an einem Ende seines zu AB und Ox senkrechten Durchmessers liegt. Die Wirkung rührt in diesem Falle von der elektrischen Kraft der Wellen her. Die magnetische Kraft ist wie im vorigen Falle parallel zur Ebene des Resonators gerichtet und bringt deshalb keine Wirkung hervor, dagegen strebt die elektrische Kraft in den beiden Hälften, in welche der Resonator durch den zu AB senkrechten Durchmesser zerlegt wird, entgegengesetzte Ladungen hervorzurufen. Befindet sich die Unterbrechung in E oder in G, so nehmen die beiden Seiten derselben in irgend einem Moment das gleiche Potential an; rückt sie dagegen an eine andere Stelle, so erhalten die Drahtenden verschiedene Potentialwerte, und zwar wird die Differenz zwischen denselben am gröfsten, wenn man die Unterbrechung an eines der Enden des zur Bildfläche senkrechten Durchmessers bringt.

Drittens soll jetzt der Resonator die durch den gestrichelten Kreis in Fig. 54 angedeutete Lage erhalten, d. h. seine Ebene soll durch die Achse des Oszillators AB gehen. Dann fehlen die Funken in dem Resonator niemals, wenn sie auch je nach der Lage der Unterbrechungsstelle durch die magnetische Kraft der Welle allein oder durch diese im Verein mit der elektrischen Kraft derselben erzeugt werden. Die oszillierende magnetische Kraft ist

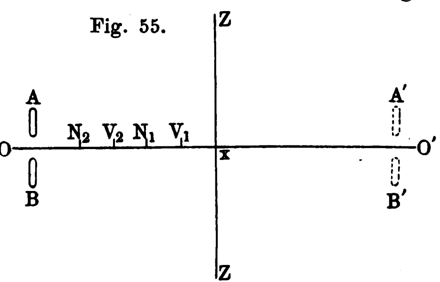
nämlich bei dieser Orientierung des Resonators senkrecht zur Ebene desselben gerichtet und ihre Strömung durch denselben erreicht daher den höchsten Betrag. Die elektrische Kraft bleibt wirkungslos, wenn der Resonator in E oder in G unterbrochen ist, dagegen trägt sie zur Erscheinung der Funken bei, wenn die Unterbrechungsstelle eine andere Lage hat; in C und in D erreicht ihre Wirkung den höchsten Grad.

So lassen sich mit Hilfe des kreisförmigen Resonators die Eigentümlichkeiten des Verhaltens der elektrischen und der magnetischen Kraft bei ihrer Ausbreitung rings um den Oszillator feststellen.

Den endgültigen Beweis für das Vorhandensein der elektromagnetischen Wellen liefert sodann der Versuch mit den stationären Wellen, den wir jetzt kennen zu lernen haben.

In geeigneter Entfernung von dem Oszillator AB (Fig. 55) sei eine grofse Metallwand ZZ senkrecht zur Geraden Ox aufgestellt. Der Einfachheit halber wollen wir unsere Betrachtungen auf die Vorgänge längs dieser Geraden beschränken. Die Wellen, welche auf die Wand ZZ fallen, werden ebenso wie Schallwellen von derselben zurückgeworfen und kehren gegen O zurück. Längs der Geraden Ox existieren demnach gleichzeitig zwei

Fig. 55.



Wellensysteme, das von O ausgehende und das gegen O zurückgesandte; es müssen sich also, wie wir im vorigen Paragraphen gesehen haben, stationäre Wellen bilden. Durch geeignete Benutzung des kreisförmigen Resonators lassen sich dieselben nachweisen.

Wir beginnen damit, die Ebene des Resonators senkrecht zu Ox aufzustellen, mit der Unterbrechung an einem Ende des zu Ox und zu AB senkrechten Durchmessers; wir geben ihm also diejenige Orientierung, in welcher er von seiten der elektrischen Kraft die stärkste Einwirkung, von seiten der magnetischen Kraft dagegen gar keine Einwirkung erfährt. Zunächst bringen wir den Resonator in unmittelbare Berührung mit der reflektierenden Wand ZZ und bewegen ihn dann schrittweise längs Ox in der Richtung gegen O. Anfangs zeigt der Resonator keinerlei Wirkung, dann

aber treten in demselben Fünkchen auf, die immer stärker werden und ein Maximum erreichen, wenn der Resonator an einer Stelle V_1 angelangt ist. Von da an nehmen die Funken wieder ab und sind nur noch zu beobachten, wenn man den Abstand zwischen den Enden des Resonators mehr und mehr verringert; wenn der Resonator an einer Stelle N_1 angelangt ist, sind sie überhaupt nicht mehr wahrzunehmen. Bei weiterem Fortschreiten in der gleichen Richtung erscheinen sie von neuem, erreichen ein zweites Maximum an einer Stelle V_2, verlöschen abermals in N_2 u. s. f. Verzeichnet man sorgfältig die Lage der Stellen V_1, N_1, V_2 . . . ., so erkennt man, dafs sie gleich weit voneinander entfernt sind. An den Stellen x, N_1, N_2 . . . . haben wir also die Knoten, an den Stellen V_1, V_2 . . . . die Bäuche der stehenden Wellen vor uns; die Abstände zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bäuchen oder zwischen zwei aufeinanderfolgenden Knoten sind alle gleich grofs und repräsentieren je eine halbe Wellenlänge. Mehr als drei oder höchstens vier Knoten lassen sich jedoch im allgemeinen nicht beobachten; es ist dies eine Folge der raschen Dämpfung der Wellen. Von den beiden Wellen, welche durch ihre Interferenz z. B. die Entstehung des Knotens N_2 veranlassen, hat nämlich die eine, welche von O ausgegangen war, an der Stelle x zurückgeworfen wurde und von hier aus nach N_2 gelangte, einen um das Doppelte der Strecke $N_2 x$ oder um zwei Wellenlängen gröfseren Weg zurückgelegt als die direkt von O nach N_2 gesandte. Zwischen der Entstehung der zurückgeworfenen und der direkt nach N_2 gesandten Wellen haben also im Oszillator zwei vollständige Schwingungen stattgefunden, und während dieser Zeit hat infolge der Dämpfung die Amplitude der Schwingungen abgenommen. An der Stelle N_2 kann sich deshalb kein reiner Knoten bilden, d. h. die beiden Wellen können sich infolge der Verschiedenheit ihrer Amplituden gegenseitig nicht vollständig auslöschen, und mit einem sehr empfindlichen Resonator beobachtet man in der Tat auch an der Stelle N_2 mitunter schwache Fünkchen. Diese Verschiedenheit in der Amplitude der direkten und der reflektierten Welle tritt natürlich noch stärker hervor, wenn man anstatt des zweiten Knotens den dritten oder vierten betrachtet und man begreift deshalb, dafs von einer gewissen Entfernung ab überhaupt keine Knoten mehr wahrzunehmen sind. Zum Teil wird die Abnahme der Amplitude der späteren Wellen durch Dämpfung allerdings wieder ausgeglichen, weil auch die Amplitude der zuerst ausgesandten und von

der Wand ZZ reflektierten Schwingungen mit zunehmendem Durchmesser der Welle geringer werden mufs.

Bis hierher hatten wir nur die elektrischen Kräfte der stationären Welle ins Auge gefafst; ein ebenso vollständiger Parallelismus zwischen den stationären akustischen und den stationären elektromagnetischen Wellen zeigt sich aber auch beim Studium der magnetischen Kräfte dieser letzteren.

Wir müssen zu diesem Zwecke die Ebene des Resonators so anordnen, dafs sie in die Ebene der Zeichnung zu liegen kommt, also durch AB hindurchgeht; um die Wirkung der elektrischen Kraft auszuschliefsen, müssen wir ferner die Unterbrechungsstelle des Resonators an eines der Enden des zu AB parallelen Durchmessers bringen. Bewegen wir ihn dann schrittweise von x gegen O, so beobachten wir folgendes:

Befindet sich der Resonator an einer der Stellen x oder N_1, N_2 . . . ., so treten die längsten Funken auf; dagegen fehlen dieselben gänzlich an den Stellen V_1, V_2 . . . . An die Stelle der Knoten und Bäuche der elektrischen sind also beziehungsweise die Bäuche und Knoten der magnetischen Kraft getreten; die elektrische Kraft hat einen Knoten, die magnetische Kraft einen Schwingungsbauch in unmittelbarer Nähe der reflektierenden Wand; dann folgt an der Stelle V_1 ein Bauch der elektrischen und ein Knoten der magnetischen Kraft u. s. w.

Die Notwendigkeit dieser Beziehung läfst sich mit Hilfe der folgenden Betrachtung, wenn auch nicht gerade streng beweisen, so doch dem Verständnis näher bringen.

Die Wellen, welche von einem Punkte O ausgegangen sind und dann von einer ebenen Fläche reflektiert werden, verhalten sich, mögen es nun Flüssigkeitswellen, Schallwellen, Lichtwellen oder elektromagnetische Wellen sein, genau so, wie wenn sie statt dessen von einem anderen Punkte O' kämen, der auf der Geraden Ox, aber jenseit der reflektierenden Wand und in gleicher Entfernung von dieser liegt wie der Punkt O. Im vorliegenden Falle z. B. verhalten sich die reflektierten Wellen so, wie wenn sie von einem mit AB identischen und hinter der Wand in O' aufgestellten Oszillator $A'B'$ erzeugt wären. Nur müssen wir annehmen, die elektrischen Ladungen dieses hypothetischen Oszillators $A'B'$ seien in jedem Augenblick von entgegengesetztem Vorzeichen wie diejenigen des Oszillators AB. In der Tat erzeugt eine in O befindliche unbewegliche Ladung durch Influenz auf der

Wand ZZ eine Ladung von entgegengesetztem Vorzeichen, deren Wirkung auf der Rückseite von ZZ die gleiche ist wie diejenige einer in O' befindlichen Ladung von gleicher Gröfse und entgegengesetztem Vorzeichen wie die in O vorhandene. Dasselbe mufs nun, wenigstens soweit das Vorzeichen in Betracht kommt, auch stattfinden, wenn die Ladung in O schwingt und elektrische Wellen nach Art der von einem Oszillator ausgehenden erzeugt. Betrachten wir den resultierenden Effekt im Punkte x, so sehen wir, dafs die gesamte elektrische Kraft daselbst beständig gleich Null sein mufs, weil die von AB ausgeübte Kraft gleich grofs und von entgegengesetztem Vorzeichen ist wie die von $A'B'$ ausgehende. Dagegen addieren sich die beiden magnetischen Kräfte, denn die Entladungsströme in AB und $A'B'$ haben zwar in jedem Augenblick entgegengesetzte Richtung, aber der Punkt x ist auch mit Bezug auf die beiden Oszillatoren in entgegengesetzter Lage.

Die geschilderten Versuche wurden nach ihrer Veröffentlichung durch Hertz allenthalben wiederholt, und die Gröfse der Apparate wurde mannigfach abgeändert. Je nach den Dimensionen und der Gestalt des Oszillators mufs nämlich die Länge der von demselben ausgesandten Wellen verschieden grofs ausfallen, und man wird daher die für den jeweils beabsichtigten Zweck der Versuche geeignetste Gröfse auswählen. Für Demonstrationszwecke in Vorlesungen eignen sich am besten kräftige Schwingungen von grofser Wellenlänge, wie man sie vermittelst des weiterhin zu beschreibenden Oszillators mit Paraffinöl erhält. Bei Anwendung dieses Oszillators treten im Resonator ungemein lebhafte Funken auf, und wenn man die Enden des Resonators mit einer kleinen Glasröhre (am besten aus Uranglas) verbindet, deren Luftinhalt stark verdünnt ist, so gerät dieselbe in ein ziemlich intensives Leuchten, welches von allen Stellen eines grofsen Saales aus sichtbar ist.

Der Versuch mit den stationären Wellen bietet ein bequemes Mittel zur Bestimmung der Wellenlänge. Bei den ersten Versuchen von Hertz betrug der Abstand zwischen zwei benachbarten Knoten ungefähr $4^1/_2$ m, die Wellenlänge demnach etwa 9 m. Anderseits läfst sich aus den Dimensionen des Oszillators, vorausgesetzt, dafs derselbe von hinreichend einfacher Gestalt ist — derselbe bestand z. B. aus einem in der Mitte unterbrochenen Draht, der an den Enden zwei Kugeln trug —, die Schwingungsperiode desselben, d. h. die Anzahl der Schwingungen in der Sekunde, be-

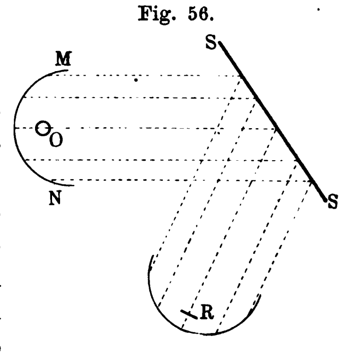
rechnen. Durch Multiplikation dieser Zahl mit der vorher gefundenen Wellenlänge ergibt sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen; man findet eine Zahl, die von 300000 km in der Sekunde, d. i. von dem annähernden Betrage der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, nur wenig abweicht.

Anstatt des kreisförmigen Resonators kann man zu den beschriebenen Versuchen auch einen geradlinigen benutzen, der einfach aus einem in der Mitte unterbrochenen geraden Stück Draht besteht; doch läfst sich mit demselben nur das Verhalten der elektrischen, nicht aber dasjenige der magnetischen Kraft studieren.

Dafür eignet sich der geradlinige Resonator besser als der kreisförmige für die meisten Versuche, deren Zweck der Nachweis der Analogie zwischen den elektromagnetischen und den Lichtwellen bildet. Hertz zeigte diese Analogie vermittelst der Zurückwerfung und Brechung der elektrischen Wellen; andere Forscher haben später die Analogie vervollständigt, indem sie mit Hilfe der elektromagnetischen Wellen die verschiedenartigen, dem Gebiete der Optik angehörigen Erscheinungen nachahmten. Mit diesen Versuchen werden wir uns in einem späteren Paragraphen dieses Kapitels eingehender zu beschäftigen haben; wir wollen deshalb an dieser Stelle nur die Versuche, durch welche Hertz selbst[3]) die Zurückwerfung und Brechung der elektromagnetischen Wellen gezeigt hat, kurz beschreiben.

Auf Grund eines kühnen und glücklichen Analogieschlusses war Hertz auf den Gedanken gekommen, seinen Oszillator im Brennpunkt oder in der Brennlinie eines Spiegels anzubringen. Streng genommen sollte dieser Spiegel von parabolischer Gestalt sein, praktisch läfst sich aber statt dessen auch eine Kugelschale oder ein Stück eines Kreiszylinders verwenden. Derartige Spiegel dienen bekanntlich dazu, die von einer Lichtquelle ausgehenden Strahlen parallel zu machen und auf weite Entfernungen zu lenken; dieselbe Wirkung erhält man bei einem Oszillator O (Fig. 56) durch ein entsprechend gestaltetes Metallblech MN. Dasselbe ist zu einer Zylinderfläche gebogen, deren Mantellinien parallel zum Oszillator sind und deren Querschnitt sich wenig von einem Parabelbogen unterscheidet,

Fig. 56.



in dessen Brennpunkt sich der Oszillator befindet. Trifft das Bündel von Strahlen elektrischer Kraft, wie sich Hertz ausdrückte, oder mit anderen Worten die begrenzte ebene Welle, die vom Reflektor *MN* ausgeht, in geneigter Richtung auf eine Metallwand *SS*, so findet Zurückwerfung statt und ein geradliniger Resonator *R*, der ebenfalls in der Brennlinie eines zylindrischen Reflektors angebracht ist, tritt in Tätigkeit, wenn seine Lage mit Bezug auf den Oszillator und den Spiegel den bekannten Reflexionsgesetzen entspricht.

Ist die Wand *SS* nicht vorhanden, so treten im Resonator selbstverständlich nur dann Funken auf, wenn er dem Oszillator *O* gegenübersteht. Nachdem Hertz dies festgestellt hatte, brachte er zwischen die beiden Apparate ein grofses Prisma aus Asphalt; dadurch verlöschten die Funken im Resonator und erschienen erst wieder, wenn der Resonator seitlich um einen gewissen Winkel verschoben wurde; es hatte also in dem Prisma eine Brechung der elektromagnetischen Wellen stattgefunden.

Bei den geschilderten Versuchen ist es im allgemeinen von Vorteil, wenn die Schwingungsperiode des Resonators mit derjenigen des Oszillators übereinstimmt; indessen ist dies nicht notwendig und in gewissen Fällen nicht einmal von Nutzen. Auf alle Fälle vermag ein und derselbe Oszillator auf Resonatoren einzuwirken, deren Schwingungsperioden weit voneinander abweichen. Diese Erscheinung wurde von Sarasin und De la Rive[4]) beobachtet und von denselben als mehrfache Resonanz bezeichnet. Ihre Ursache hat sie, wie heute aufser Zweifel steht, in der raschen Abnahme der Schwingungsweite und in der kleinen Anzahl von Schwingungen, die deshalb auf jede Entladung im Oszillator folgen. Benutzt man zu dem Versuche mit den stationären Wellen nacheinander verschiedene Resonatoren, so findet man für jeden Resonator einen anderen Abstand zwischen zwei benachbarten Knoten, also eine andere Wellenlänge. Die auf solche Weise gemessene Wellenlänge ist also im allgemeinen diejenige des Resonators, d. h. sie entspricht der Schwingungsdauer dieses letzteren und nicht derjenigen des Oszillators. Der Grund hiervon ist, wie gesagt, darin zu suchen, dafs die Schwingungen des Oszillators infolge ihrer starken Dämpfung wie einzelne Stöfse ohne eigene Periode wirken, während die Schwingungen des Resonators in der Regel viel weniger gedämpft sind und deshalb ihre eigene Periode bewahren. Würde man statt dessen einen Oszillator be-

nutzen, dessen Dämpfung geringer wäre als diejenige des Resonators, so würde man das entgegengesetzte Resultat erhalten; auch mit Resonatoren von sehr verschiedener Eigenperiode würde man zwischen zwei benachbarten Knoten stets den gleichen Abstand finden, nämlich den vierten Teil der Wellenlänge, welche den Schwingungen des Oszillators eigen ist.

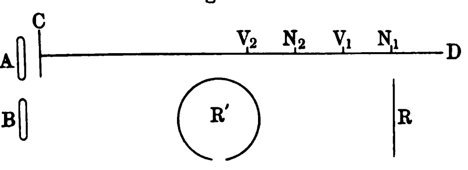
31. Elektrische Wellen in Drähten.

Die in § 26 beschriebenen Versuche haben uns bereits gezeigt, auf welche Weise periodische elektrische Störungen sich in den Leitern ausbreiten und Resonanzerscheinungen hervorrufen. Bei der Mehrzahl dieser Versuche bestand der Oszillator aus einer Leydener Flasche mit ihrem Entladungskreis; infolge der verhältnismäfsig grofsen Kapazität eines derartigen Kondensators mufste deshalb die Periode der oszillierenden Entladung bei jenen Versuchen viel gröfser sein als diejenige eines Oszillators nach Art des von Hertz benutzten. Stationäre Wellen in den mit dem Entladungskreis verbundenen Drähten konnten daher bei jenen Versuchen kaum zu erwarten sein. Dagegen vermochte Hertz mit seinen Resonatoren an längeren Leitungsdrähten leicht eine Anzahl von Knoten und Bäuchen nachzuweisen, die von der Fortpflanzung der periodischen elektrischen Schwankungen längs der Drähte Zeugnis ablegten [5]).

Hierher gehörige Versuche lassen sich z. B. auf folgende Weise anstellen.

Vor einem der beiden Leiter *A* und *B*, aus welchen der Oszillator besteht, stellt man einen anderen Leiter *C* (Fig. 57) auf, z. B. eine isolierte Metallscheibe, welche mit einem Ende eines Drahtes *CD* verbunden ist. Finden zwischen *A* und *B* oszillierende Entladungen statt, erhält also der Leiter *A* abwechselnd positive und negative Ladungen, so

Fig. 57.



mufs die Influenz auf den Leiter *C* in bekannter Weise einwirken, und die Ladung dieses letzteren mufs in jedem Augenblick derjenigen von *A* entgegengesetzt sein. Diese elektrischen Schwankungen müssen sich nun auch längs des Drahtes fortpflanzen; der in einem gegebenen Moment in *C* vorhandene elektrische Zustand wird also später an immer weiter von *C* ent-

fernten Stellen des Drahtes anzutreffen sein. Am Ende D des Drahtes werden diese Störungen jedoch zurückgeworfen, und durch das Zusammenwirken der direkten und der zurückgeworfenen bilden sich stationäre Wellen. In dem Draht findet also ein oszillatorischer elektrischer Vorgang statt, den man vermittelst eines Resonators, welchen man in der Nähe des Drahtes von C nach D verschiebt, leicht nachweisen kann.

Zu diesem Zwecke wollen wir den Resonator R zunächst so aufstellen, dafs seine Ebene zu dem Drahte senkrecht steht und dafs seine Unterbrechungsstelle sich am Ende des zu AB senkrechten Durchmessers befindet. Offenbar mufs dann die Ladung, welche der Draht an den dem Resonator nahen Stellen besitzt, durch Influenz auf den Resonator wirken und den beiden Hälften desselben entgegengesetzte Ladungen erteilen; und da die Ladung des Drahtes selbst einem rapiden Wechsel unterworfen ist, so mufs auch der Vorgang in dem Resonator sich entsprechend gestalten: es findet Resonanz statt. In der Tat treten in dem Resonator Funken auf; bewegt man denselben aber in der Richtung von D nach C, so zeigt es sich, dafs in unmittelbarer Nähe des Endes D und an gewissen anderen Stellen V_1, V_2 .... lebhafte Funken erscheinen, während an anderen zwischen jenen gelegenen Stellen N_1, N_2 .... die Funken verschwinden und beim Übergang von einer der letzteren zu einer der ersteren Stellen oder umgekehrt die Funken allmählich stärker oder schwächer werden. Die Punkte D, N_1, V_1, N_2 .... stehen gleich weit voneinander ab und beweisen das Vorhandensein stationärer Wellen; N_1, N_2 .... sind die Knoten derselben, d. h. Stellen, an welchen der Draht keine Ladung hat, während an den Bäuchen D, V_1, V_2 .... die Ladung des Drahtes am stärksten ist.

Damit die geschilderte Erscheinung zu stande kommen kann, müssen, wie gesagt, in dem Drahte oszillatorische elektrische Verschiebungen vor sich gehen, oder, mit anderen Worten, derselbe mufs von Wechselströmen durchflossen sein, die dann natürlich auch entsprechende magnetische Kräfte äufsern. Die magnetischen Kraftlinien sind in diesem Falle, wie bereits an anderer Stelle gesagt worden, Kreise, deren Ebenen zu dem Drahte senkrecht stehen und deren Mittelpunkte auf dem Drahte liegen; der Resonator mufs daher, um von seiten derselben die stärkste Einwirkung zu erfahren, die Lage R' erhalten, in welcher seine Ebene durch den Draht hindurchgeht. Die magnetische Kraft

tritt dann senkrecht durch die Fläche des Kreises, und ihre wechselnde Strömung ruft in dem Draht des Resonators induzierte elektrische Schwingungen hervor. Die Unterbrechungsstelle des Resonators mufs sich dabei, wenn man die gleichzeitige Einwirkung der elektrischen Kraft ausschliefsen will, entweder an der dem Drahte nächsten oder an der von demselben entferntesten Stelle befinden. Bewegt man dann den Resonator schrittweise von D gegen C, so beobachtet man die stärksten Funken an den Stellen N_1, N_2 . . . .; dagegen fehlen die Funken gänzlich an den Stellen D, V_1, V_2 . . . . Auch hier fallen also die Knoten der magnetischen mit den Bäuchen der elektrischen Kraft und die Bäuche der ersteren mit den Knoten der letzteren zusammen.

Wie man sieht, ist der Vorgang demjenigen in einer gedeckten Orgelpfeife völlig analog, die elektrische Kraft entspricht dem Druck der Luft, die magnetische Kraft den Schwingungen derselben. Am geschlossenen Ende der Pfeife kann die Luft keine Schwingungen ausführen, aber die abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft sind hier am stärksten ausgeprägt, und dasselbe wiederholt sich an Stellen, die von dem geschlossenen Ende der Pfeife beziehungsweise um eine halbe Wellenlänge, um eine ganze Wellenlänge, um anderthalb Wellenlängen u. s. w. entfernt sind. An den Stellen, die in der Mitte zwischen jenen liegen, erleidet der Druck der Luft keine Änderung, dafür aber erreichen die Schwingungen parallel zur Achse der Röhre ihre gröfste Amplitude.

Um zu entscheiden, ob die durch die Luft übertragenen Wellen die gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit besitzen, wie die längs des Drahtes übermittelten, kann man beide gleichzeitig auf den Resonator einwirken lassen. Oder einfacher, man multipliziert die am Drahte gemessene Wellenlänge mit der berechneten Schwingungszahl des Oszillators und ermittelt auf diese Weise die Fortpflanzungsgeschwindigkeit längs des Drahtes. Auf die eine wie auf die andere Weise findet man für die Geschwindigkeit in der Luft und längs des Drahtes den gleichen Betrag. Dies kann nicht überraschen, wenn man sich erinnert, dafs die Fortpflanzung der Wechselströme hauptsächlich in einer Oberflächenschicht der Leiter vor sich geht, deren Dicke um so geringer ist, je rascher der Strom seine Richtung wechselt. Bei dem überaus raschen Wechsel der Strömung, die ein Oszillator erzeugt, nimmt gewifs nur eine ungemein dünne Schicht des Drahtes an der Er-

scheinung teil, und die elektrische Energie, welche sich nach einer begründeten Hypothese von Poynting in der sowohl zur elektrischen wie zur magnetischen Kraft senkrechten Richtung fortpflanzt, wird in erster Linie durch das den Draht umgebende Dielektrikum (oder durch den in demselben enthaltenen Äther) übertragen. Man kann also sagen, dafs die Gegenwart des Leiters lediglich die Wirkung hat, die Gestalt der Wellen zu verändern und damit zu veranlassen, dafs die von dem Oszillator ausgestrahlte Energie, anstatt sich nach allen Seiten auszubreiten, vorzugsweise in der Richtung des Drahtes geführt wird. Das Material, aus welchem der Draht besteht, hat im allgemeinen, wie Hertz zeigte, keinen merklichen Einflufs auf die Erscheinung.

Einen interessanten Fall stationärer Wellen in Drähten bietet die folgende, von Lecher [6]) herrührende Versuchsanordnung. Der Oszillator (Fig. 58) besteht aus zwei ebenen Metallplatten A und A', an welche sich Drähte schliefsen, die in kleinen Kugeln F

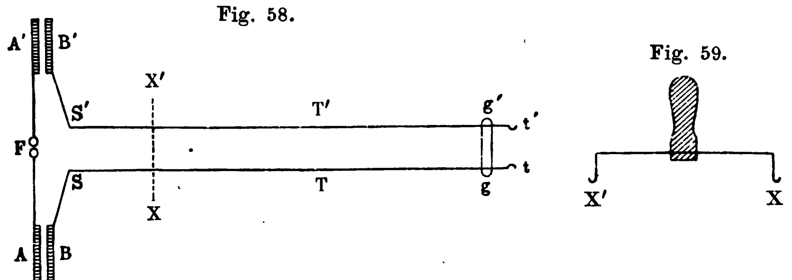


Fig. 58. Fig. 59.

endigen, zwischen denen die Funken überspringen. Vor den Platten A und A' und parallel zu denselben stehen zwei weitere Platten B und B', die mit den parallelen Drähten T und T' verbunden sind. Eine bewegliche Brücke XX', welche zwei einander gegenüberstehende Punkte der Drähte miteinander verbindet, kann längs der Drähte verschoben werden; sie besteht ganz einfach aus einem passend gebogenen und mit einem Handgriff versehenen Kupferdraht (Fig. 59). Legt man die Brücke über die Drähte, so bildet man damit einen Stromkreis $FA'B'X'XBAF$, der zwei in Serie geschaltete Kondensatoren AB und $A'B'$, sowie das Funkenintervall F umfafst. Ein derartiges System, welches sich laden läfst, indem man die Kugeln F mit den Polen eines Induktionsapparates oder einer Influenzmaschine verbindet, besitzt eine eigene Schwingungsperiode, welche durch Verschiebung der Brücke XX' verändert werden kann, weil sich damit die Selbstinduktion des

Systems ändert. In unmittelbarer Nähe des Systems, innerhalb dessen die oszillatorischen Entladungen vor sich gehen, befindet sich sodann der Leiter $t'X'Xt$, welcher, wenn er die richtigen Dimensionen hat, als Resonator wirkt. Um zu erkennen, ob Resonanz stattfindet, könnte man die Enden t und t', wie bei dem kreisförmigen Resonator von Hertz, einander nähern; Lecher zieht es jedoch vor, über die beiden Drähte bei t und t' eine geschlossene Glasröhre zu legen, welche ein verdünntes Gas enthält; dieses leuchtet, wenn Resonanz stattfindet.

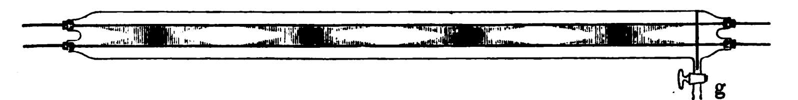
Verschiebt man nun, während zwischen den Kugeln des Oszillators Funken überspringen, die Brücke von tt' aus gegen F, so findet man bald eine Stellung der Brücke, bei welcher das am Ende der Drähte befindliche Glasrohr gg' stark aufleuchtet. Dies bedeutet, dafs die Schwingungsdauer des Systems $FABXX'B'A'$ gleich derjenigen des Drahtes $tXX't'$ geworden ist; die Wellenlänge dieser Schwingungen ist doppelt so grofs wie die Länge des Drahtes. Verschiebt man hierauf die Brücke weiter in der Richtung gegen die Kondensatoren, so verlischt die Röhre, beginnt aber bei einer zweiten Lage der Brücke von neuem zu leuchten, verlischt dann wieder u. s. f. Ohne Zweifel hat diese Verschiebung die Wirkung gehabt, die Periode der Schwingungen immer mehr zu verkürzen, während gleichzeitig der Draht $tXX't'$ immer länger wurde; es ist also nicht anzunehmen, dafs auch jetzt noch die Resonanz unter den gleichen Bedingungen stattfindet wie bei der früheren Lage der Brücke. Dagegen läfst sich leicht nachweisen, dafs nunmehr auf den Drähten Xt und $X't'$ Knoten vorhanden sind und dafs sich also neue stationäre Wellen gebildet haben. Die Lage dieser Knoten läfst sich unschwer finden, indem man auf den Drähten eine zweite Brücke nach Art der Brücke XX' verschiebt; befindet sich diese zweite Brücke an einer Knotenstelle, so wird dadurch das Leuchten der Röhre gg' nicht beeinflufst, während dasselbe schwächer wird oder ganz aufhört, wenn die zweite Brücke an eine andere Stelle rückt.

Die Leichtigkeit, mit welcher die beschriebene Versuchsanordnung die Bedingungen der Resonanz herzustellen oder das Bestehen derselben zu konstatieren gestattet, hat eine vielseitige Verwendung derselben bei experimentellen Untersuchungen zur Folge gehabt. Arons[7]) hat es, indem er den gröfsten Teil der Drähte XX' und die Enden t und t' derselben in ein langes Glasrohr (Fig. 60 a. f. S.) einschlofs, auch ermöglicht, die längs der Drähte

vorhandenen Knoten und Bäuche direkt sichtbar zu machen. Wird nämlich durch einen Hahn *g* die Luft aus der Röhre zum gröfsten Teil entfernt, so sind im Dunkeln die Stellen, an welchen sich Schwingungsbäuche befinden, infolge der Entladungen, welche hier zwischen den beiden Drähten stattfinden, deutlich sichtbar.

Auf andere Weise ist der Verfasser dieses Teiles [8]) zu einem ähnlichen Ergebnis gelangt. Die beiden parallelen Drähte sind in etwa 3 cm Abstand voneinander auf einem langen Glasstreifen befestigt und dieser ist, nachdem er mit Gummilösung bestrichen

Fig. 60.



worden, mit Zinkfeilicht bestreut. Bei jeder Entladung zwischen den Kugeln *F* der Fig. 59 treten an den Stellen, welche den Schwingungsbäuchen entsprechen, zwischen den Zinkspänen lebhafte Fünkchen auf. Der Versuch gelingt besonders gut und man erhält sehr glänzende Funken, wenn man einen der Oszillatoren mit Paraffinölisolierung (Fig. 71) benutzt, von welchen im nächsten Paragraphen die Rede sein wird.

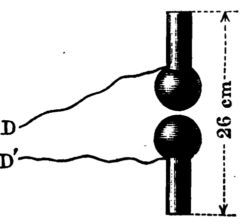
32. Die Oszillatoren.

Bisher haben wir die Oszillatoren, ohne uns weiter mit ihrer Gestalt und Anordnung zu befassen, einfach als Systeme von Leitern betrachtet, in welchen oszillatorische Entladungen stattfinden. In manchen Fällen können jedoch gerade diese Einzelheiten von gröfster Bedeutung sein; wir wenden uns deshalb nunmehr zur Beschreibung der hauptsächlichen Typen von Oszillatoren, die sich bei den bereits geschilderten Versuchen oder bei denjenigen, welchen wir später begegnen werden, als nützlich erwiesen haben. Hieran werden sich einige Betrachtungen über die Wirkungsweise dieser Apparate schliefsen.

Hertz benutzte zu seinen Versuchen verschiedene Formen von Oszillatoren. Der Oszillator der Fig. 43 besteht aus zwei zylindrischen Leitern; wenn es jedoch notwendig war, die Schwingungsperiode des Oszillators berechnen zu können, so verwendete Hertz einen Oszillator aus zwei Drähten, die an den voneinander entfernten Enden grofse Kugeln trugen. Sollten, wie bei den im vorstehenden Paragraphen beschriebenen Versuchen, die beiden

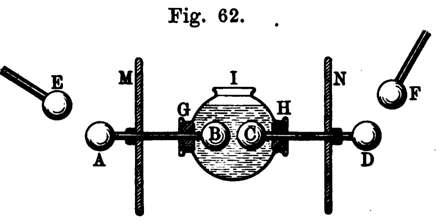
Leiter, aus welchen sich der Oszillator zusammensetzt, oder einer von denselben durch Influenz auf andere Leiter einwirken, so traten an Stelle der Kugeln Metallplatten, vor welchen sich andere Platten befanden. Um kurze Wellen zu erhalten, bediente sich Hertz des in Fig. 61 abgebildeten Oszillators, der aus zwei Messingzylindern bestand, die an den einander zugewendeten Enden Messingkugeln von 2 cm Radius trugen. Bei den Versuchen über Zurückwerfung und Brechung der Wellen, die wir am Schlufs des § 30 kennen gelernt haben, liefs sich dieser Oszillator bequem in der Brennlinie eines parabolischen Reflektors anbringen. Die kleinste Wellenlänge, die Hertz mit Hilfe eines derartigen Oszillators erhielt, betrug ungefähr 66 cm.

Fig. 61.



Von diesen Oszillatoren funktioniert jedoch keiner in vollkommen regelmäfsiger Weise; besonders bei kleinen Apparaten treten fortwährend Störungen auf. Selbst wenn die Kugeln, zwischen welchen die Funken überschlagen, mit Platin überzogen sind, erleidet ihre Oberfläche durch die Einwirkung der Funken gewisse Veränderungen, die auch die Entladung nach und nach beeinflussen und ihr den oszillatorischen Charakter nehmen. Häufiges Reinigen der Metallflächen vermag diesem Übelstande bis zu einem gewissen Grade vorzubeugen, von ungleich gröfserem Nutzen aber erwies sich ein von Sarasin und De la Rive eingeführtes Hilfsmittel, welches darin besteht, den Entladungsfunken in gewöhnlichem Öl überspringen zu lassen. Man erreicht dadurch, dafs der Oszillator längere Zeit hindurch vollkommen regelmäfsig funktioniert.

Fig. 62.



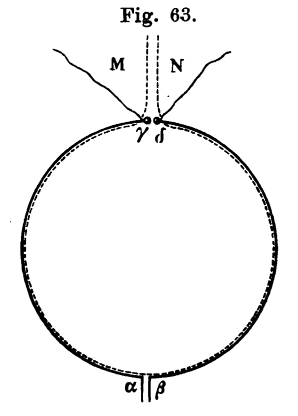
Der Verfasser dieses Abschnittes fand es zweckmäfsiger, anstatt des gewöhnlichen Öls das sogenannte Vaselin- oder Paraffinöl zu benutzen; gleichzeitig erhielt der Oszillator eine veränderte Gestalt, in welcher man ihn als Oszillator mit drei Funken bezeichnen kann. Ein derartiger Oszillator, welcher Wellen von einigen Metern Länge erzeugt und sich deshalb besonders für Vorlesungsversuche eignet, ist in Fig. 62 abgebildet [9]).

Zwei Messingstäbe ragen durch die einander gegenüberstehen-

den Tubulaturen *G* und *H* in einen kugelförmigen Glasballon. Eine obere Öffnung *I* dieses letzteren dient zum Einfüllen des Paraffinöls und bleibt unverschlossen. Auf den Messingstäben, welche in Kugeln *ABCD* endigen, lassen sich zwei Kupferplatten *M* und *N* verschieben. In der Nähe der äufseren Kugeln *A* und *D* befinden sich zwei Leiter *E* und *F*, welche zu den Polen einer Influenzmaschine führen und durch die Funken, die zwischen *E* und *A*, bezw. zwischen *F* und *D* überspringen, dem Oszillator die erforderlichen Ladungen mitteilen. Diese beiden Funken sind mehrere Zentimeter lang, während die Länge des Funkens zwischen *B* und *C* nur 1 bis 2 mm beträgt.

Aufser einer konstanteren Wirkungsweise, die sich besonders bei Anwendung von Paraffinöl bemerkbar macht, bieten die Oszillatoren mit Flüssigkeitsisolierung noch einen anderen Vorteil. Die Funkenentladung innerhalb einer isolierenden Flüssigkeit erfordert bei gleicher Schlagweite eine bedeutend gröfsere Potentialdifferenz als eine Entladung in der Luft; die Elektrizitätsmenge, welche an der Entladung teilnimmt und die Schwingungen erzeugt, ist deshalb im ersteren Falle bedeutend gröfser als im letzteren, und die Wirkung ist dementsprechend auch bedeutend kräftiger. Allerdings sollte man meinen, der gleiche Erfolg liefse sich auch ohne Flüssigkeit erreichen, indem man einfach die beiden Kugeln *B* und *C* weiter voneinander entfernt; die Erfahrung lehrt jedoch, dafs die Entladung, wenn man die Länge der Funken über eine gewisse Grenze hinaus steigert, keine Schwingungen mehr erzeugt.

Fig. 63.

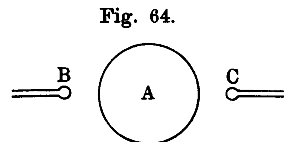


Wesentlich verschieden von den bisher beschriebenen Formen ist der Oszillator von Blondlot[10]), der sich allerdings nur zur Erzeugung von Wellen in Drähten gut eignet. Zwei Metallplatten α und β (Fig. 63) bilden einen kleinen Kondensator; von denselben gehen zwei Drähte aus, die in den Kugeln γ und δ endigen und zu einer nahezu geschlossenen Kreislinie gebogen sind. Durch einen Induktionsapparat erhalten die Kugeln entgegengesetzte Ladungen, und zwischen den beiden Kugeln erfolgt auch eine Entladung des Kondensators, sobald die Potentialdifferenz zwischen den Belegungen desselben einen gewissen Betrag erreicht

hat. Der Entladungskreis umgibt in unmittelbarer Nähe einen ebenfalls zum Kreis gebogenen Draht, der sich in zwei parallelen Drähten *M* und *N* fortsetzt. Jede Entladung in dem äufseren Kreise erzeugt in dem inneren einen oszillierenden Strom, und von hier aus übertragen sich die Wirkungen auf die beiden parallelen Drähte, die sich deshalb zu den gleichen Versuchen verwenden lassen, wie die in § 31 beschriebene Lechersche Anordnung.

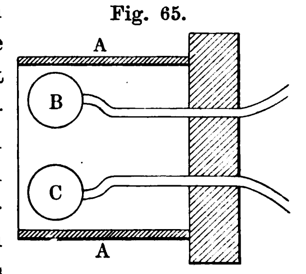
Ein von Lodge[11]) benutzter Oszillator besteht einfach aus einer isolierten Kugel *A* (Fig. 64) und zwei zu beiden Seiten derselben befindlichen Leitern *B* und *C*, welche mit einer Elektrizitätsquelle in Verbindung stehen. An zwei einander diametral entgegengesetzten Stellen der Kugel springen also Funken auf dieselbe über,

Fig. 64.



und die entgegengesetzten Ladungen, welche die beiden Hälften der Kugeloberfläche auf diese Weise erhalten, gleichen sich durch eine Anzahl von Schwingungen aus, in deren Verlauf die Ladungen der beiden Kugelhälften ihr Vorzeichen regelmäfsig wechseln. Statt der Kugel verwendete Lodge auch einen Hohlzylinder *A* (Fig. 65), der durch die Funken, welche von den kleinen Kugeln *B* und *C* auf seine Innenfläche übersprangen, seine Ladungen erhielt. Mit diesen Oszillatoren erhält man indessen nur sehr geringfügige Wirkungen; einen Beweis dafür liefert unter anderem die Tatsache, dafs die Oszillatoren mit drei Funken, wie die in Fig. 66, 67 und 68 abgebildeten, von denen alsbald die Rede sein wird, ihre Wirksamkeit fast vollständig verlieren, wenn man die beiden Kugeln *B* und *C*, aus welchen sie bestehen, miteinander in Berührung bringt und sie dadurch in Oszillatoren vom Typus desjenigen von Lodge verwandelt.

Fig. 65.



Diese, vom Verfasser dieses Abschnittes konstruierten Oszillatoren mit drei Funken haben wir in einer zur Erzeugung grofser Wellenlängen geeigneten Form bereits kennen gelernt. Man kann jedoch ihre Dimensionen auch so weit beschränken, dafs die Wellenlänge nur noch wenige Zentimeter beträgt. Zur Konstruktion dieses Oszillators, der teils in der ursprünglichen Gestalt, teils mit Abänderungen, die sich auf Einzelheiten erstreckten, eine weite

Verbreitung gefunden hat, wurde der Verfasser durch die folgenden Erwägungen geführt.

Da die Schwingungsdauer der Entladungen mit der Kapazität der Leiter, welche sich gegeneinander entladen, und mit der Selbstinduktion des Stromkreises zunimmt, so mufs man, um kleine Wellenlängen zu bekommen, diese beiden Gröfsen möglichst herabzusetzen suchen. Die beiden Leiter, aus welchen der Oszillator besteht, müssen darum möglichst geringe Dimensionen erhalten, und ebenso mufs der Draht, welcher von einem zum anderen führt und in der Mitte unterbrochen ist, möglichst kurz sein. So wurden die beiden Leiter auf zwei massive Kugeln aus Kupfer reduziert, und der Draht zwischen denselben wurde ganz beseitigt; die Kugeln wurden einander so nahe gebracht, dafs der Funke direkt zwischen ihnen überspringen konnte. Um auch die mit der Flüssigkeitsisolierung verbundenen Vorteile zu erlangen, wurde ferner die Anordnung so getroffen, dafs zwischen den beiden Kugeln sich eine Schicht Öl befand.

Ein derartiger Oszillator läfst sich in der Form, die in Fig. 66 wiedergegeben ist, auf einfache Weise herstellen[12]). Die Kugeln *B* und *C*, aus welchen sich der Oszillator zusammensetzt,

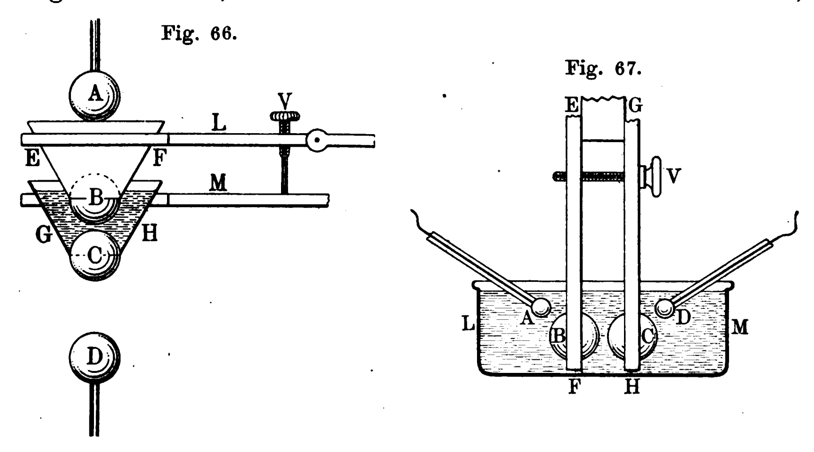


Fig. 66.

Fig. 67.

sind in den kleineren Öffnungen zweier gläserner Kegelstumpfe *EF* und *GH* befestigt, die von Trichtern abgeschnitten wurden. Dieselben ruhen in kreisförmigen Ausschnitten zweier Streifen *L* und *M* aus Holz oder Ebonit, und der senkrechte Abstand zwischen ihnen und damit auch zwischen den Kugeln *B* und *C* läfst sich vermittelst der Schraube *V* regulieren. In den unteren Trichter

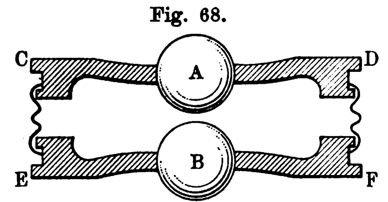
wird Öl gegossen. Ihre Ladungen erhalten die beiden Kugeln durch die Funken, welche zwischen ihnen und den zu einer Influenzmaschine oder einem Induktionsapparat führenden Leitern *A* und *D* überspringen.

Durch besondere Versuche wurde der Nachweis erbracht, dafs die zwischen *A* und *B*, sowie zwischen *D* und *C* überspringenden Funken an der Erzeugung der Wellen keinen Anteil haben, wogegen die Funken zwischen *B* und *C* von der gröfsten Wichtigkeit sind; bringt man die beiden Kugeln miteinander in Berührung, so werden, wie bereits erwähnt, überhaupt keine Wellen von merklicher Intensität mehr erzeugt. Ferner zeigte es sich, dafs die Kugeln *B* und *C* nicht aus dünnem Blech bestehen dürfen, sondern dickwandig oder am besten ganz massiv sein müssen. Diese Erscheinung bestätigt, dafs die Schwingungen, durch welche die Wellen erzeugt werden, in dem System *BC* ihren Sitz haben und auf die angenommene Weise zu stande kommen.

Die Achse des in Fig. 66 abgebildeten Oszillators ist notwendigerweise vertikal gerichtet; dagegen hat der in Fig. 67 dargestellte Oszillator [13]) eine horizontale Achse. Die beiden Kugeln *B* und *C* sind in zwei Fassungen *EF* und *GH* aus isolierendem Material befestigt; ihr Abstand voneinander wird vermittelst der Schraube *V* reguliert. Die Kugeln sind von der in dem Gefäfs *LM* befindlichen Flüssigkeit bedeckt und erhalten ihre Ladungen durch die Leiter *A* und *D*, die bis auf ihre ebenfalls von der Flüssigkeit bedeckten Enden mit dicken Glasröhren umgeben sind, um zu verhindern, dafs aufserhalb der Flüssigkeit unmittelbar zwischen *A* und *D* Entladungen stattfinden. Bei dieser Anordnung schlagen alle drei Funken innerhalb des Öles über.

Für die Versuche, die wir in § 34 kennen lernen werden, ist weder der Oszillator mit vertikaler, noch derjenige mit horizontaler Achse ausreichend; dieselben erfordern eine Anordnung, welche es ermöglicht, der Geraden, welche die Mittelpunkte der beiden Kugeln miteinander verbindet, jede beliebige Neigung zu geben. Dies wurde mit dem in Fig. 68 dargestellten Oszillator erreicht [14]). Die Kugeln sind dicht schliefsend in die zentralen Öffnungen zweier Scheiben *CD* und *EF* aus Holz oder Ebonit eingelassen, welche die Endflächen einer runden

Fig. 68.



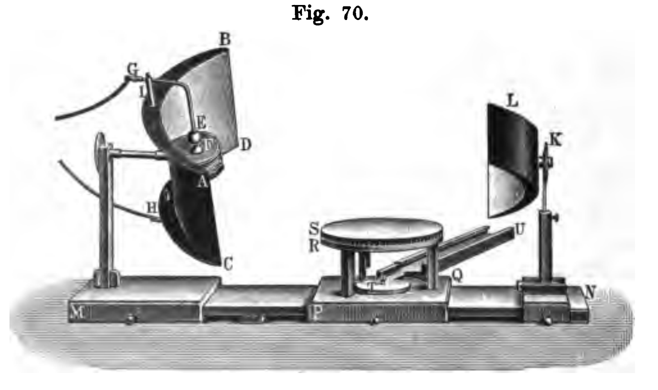
Schachtel bilden, deren Mantel aus Pergamentpapier besteht und die mit Paraffinöl gefüllt wird. Das Pergamentpapier ist hinreichend biegsam, um innerhalb gewisser Grenzen eine Regulierung des Abstandes zwischen den beiden Platten und damit auch zwischen den Kugeln zu gestatten.

Fig. 69.

Der Oszillator ist mit einem parabolischen Reflektor SS (Fig. 69) verbunden und samt demselben auf einer horizontalen Achse befestigt, die einen Zeiger D trägt und innerhalb eines Stativs CC drehbar ist. Ein geteilter Kreis EF dient dazu, den Winkel zwischen der Achse des Oszillators und der Horizontalen zu bestimmen.

Fig. 70 zeigt den Oszillator mit seinem Reflektor $ABCD$ und den Leitern G und H, welche ihm die Ladungen zuführen. Auf

Fig. 70.



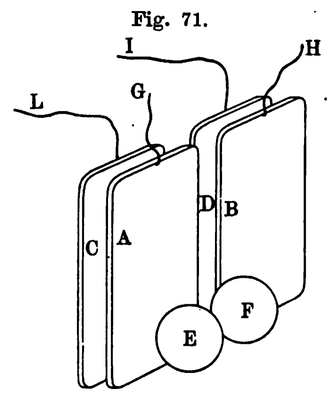
derselben Abbildung erblickt man den Spiegel L des Resonators; dieser letztere, der aus einem mit Silber belegten Glasstreifen besteht, wird im folgenden Paragraphen beschrieben werden. Ferner zeigt die Abbildung einige Hilfsvorrichtungen, welche zu den Versuchen des § 34 erforderlich sind.

Je nach der Gröſse der Kugeln, aus welchen sich der Oszillator zusammensetzt, ist auch die Wellenlänge des Resonators, auf welchen der Oszillator am stärksten einwirkt, eine verschiedene. Für Kugeln von 8 cm Durchmesser eignen sich am besten Resonatoren, welche einer Wellenlänge von ungefähr 20 cm entsprechen. Beträgt der Durchmesser der Kugeln etwas weniger als 4 cm, so kann man Resonatoren benutzen, deren Wellenlänge ungefähr $10^1/_2$ cm ist.

Zu einem Oszillator mit Kugeln von nur 8 mm Durchmesser paſst am besten ein Resonator von ungefähr 26 mm Wellenlänge. Für die meisten Versuche des § 34 erwies sich die mittlere Gröſse der Apparate (Wellen von $10^1/_2$ cm Länge) am geeignetsten.

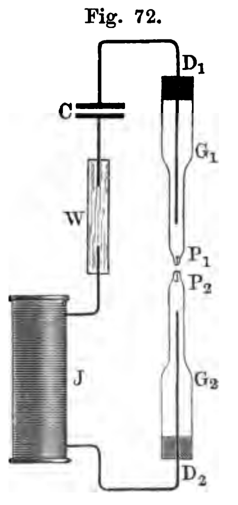
Erwähnung verdient noch eine Abänderung des Oszillators mit Ölisolierung, wodurch derselbe zu Versuchen mit Wellen in Drähten geeignet wird[15]). An die beiden Kugeln E und F (Fig. 71) des Oszillators sind zwei Messingplatten A und B gelötet. Denselben gegenüber befinden sich zwei gleiche Platten C und D, von welchen zwei Drähte I und L zu den parallelen Drähten führen, in denen sich die stationären Wellen ausbilden sollen. Seine Ladungen erhält der Oszillator durch Vermittelung der beiden Drähte G und H von einem Induktionsapparate. Das System der vier Platten befindet sich in einem Glasgefäſs unter Paraffinöl.

Fig. 71.



Der vom Verfasser dieses Abschnittes konstruierte Oszillator ist von Lebedew und neuerdings von Pierce in sehr kleinen Dimensionen hergestellt worden. Der Oszillator von Lebedew[16]) hat an Stelle der Kugeln zwei kleine Platinzylinder P_1 und P_2 (Fig. 72) von 1,3 mm Länge und 0,5 mm Dicke, die in die Enden zweier ausgezogener Glasröhren G_1 und G_2 eingeschmolzen sind. In die Röhren ragen zwei Drähte D_1 und D_2, die mit einem Induktionsapparate J in Verbindung stehen und durch Vermittelung von Funken, welche zwischen ihren Enden und den Enden der Drähte P_1 und P_2 überspringen, diesen letzteren entgegengesetzte Ladungen mitteilen. Lebedew fand es zweckmäſsig, zwischen einen der Drähte D_1 oder D_2 und den Induktionsapparat einen groſsen Widerstand W und einen Kondensator C einzuschalten. Der winzige Oszillator ist von einem kleinen Konkavspiegel umgeben, und das Ganze ist samt den Röhren G_1 und G_2 in ein Gefäſs mit Petroleum getaucht.

Fig. 72.



Der Oszillator von Pierce besteht aus zwei Zylindern von

8 mm Länge und 1 mm Dicke; die Länge der erzeugten Wellen beträgt ungefähr 44 mm. Der Widerstand *W* und der Kondensator der Lebedewschen Anordnung fehlen, ebenso der Reflektor und das Petroleumbad, da diese dem besonderen Zwecke, für welchen der Apparat bestimmt war, hinderlich gewesen wären. Um trotzdem die Funken zwischen den Platinzylindern innerhalb einer isolierenden Flüssigkeit überspringen zu lassen, liefs Pierce längs der oberen Glasröhre langsam etwas Öl herunterfliefsen, wobei zwischen den Enden der beiden Zylinder beständig ein Tröpfchen Öl hängen blieb.

Charakteristisch für einen Oszillator sind die Periode und die Dämpfung seiner Schwingungen. Die Periode ist in letzter Linie durch die Gestalt und die Dimensionen der Leiter bedingt, dagegen hängt die Dämpfung auch von der Natur derselben ab. Geschlossene Oszillatoren, wie sie z. B. durch eine Leydener Flasche mit ihrem Entladungskreis (Fig. 46) gebildet werden, bieten den Vorteil einer geringen Dämpfung, wodurch jede einzelne Entladung eine grofse Anzahl von Schwingungen umfafst. In vielen Fällen, wie besonders bei der Anwendung der Hertzschen Wellen zur drahtlosen Telegraphie, wäre dies von Nutzen, weil die geringe Dämpfung es mit sich bringt, dafs ein Resonator nur dann durch den Oszillator in Schwingungen versetzt werden kann, wenn zwischen beiden Syntonie, d. h. Gleichheit der Schwingungsperioden, wenigstens angenähert vorhanden ist. Aber dafür nimmt die Intensität der Strahlung mit zunehmender Entfernung von der Quelle sehr rasch ab, und derartige Oszillatoren sind deshalb zur Übertragung von Signalen wenig geeignet.

Statt dessen bietet ein geradliniger Oszillator den Vorzug, dafs die von ihm ausgesandte Strahlung mit wachsender Entfernung von der Strahlungsquelle viel langsamer an Intensität verliert; genauer gesagt, erfolgt die Intensitätsabnahme im umgekehrten Verhältnis der Entfernung. Dafür ist freilich auch die Dämpfung eine sehr rasche, und ein derartiger Oszillator erweckt deshalb elektrische Schwingungen auch in Resonatoren, deren Periode von seiner eigenen sehr weit verschieden ist.

Die Schwingungsperiode läfst sich aus der Gestalt und den Dimensionen der Leiter, aus welchen der Oszillator besteht, durch Rechnung finden, oder sie ergibt sich auch, indem man die Länge der von dem Oszillator ausgesandten Wellen, die z. B. durch den Versuch mit den stationären Wellen bestimmt werden kann, durch

die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes dividiert. Dividiert man umgekehrt diese Geschwindigkeit durch die Wellenlänge, so findet man die Schwingungszahl pro Sekunde.

Diese letztere Zahl ist stets sehr grofs. Bei dem kleinsten der von Hertz konstruierten Oszillatoren (s. Fig. 61) betrug die Schwingungszahl nahezu eine halbe Milliarde in der Sekunde; bei dem in Fig. 70 abgebildeten Oszillator erreicht dieselbe für das Modell von mittlerer Gröfse, dessen Wellenlänge annähernd $10^1/_2$ cm beträgt, ungefähr 3 Milliarden in der Sekunde. Dabei setzt sich jede Entladung, wie schon gesagt, nur aus wenigen Schwingungen von abnehmender Amplitude zusammen, und es ergibt sich daraus, dafs die Entladungen eines Oszillators jedesmal nur von aufserordentlich kurzer Dauer sind.

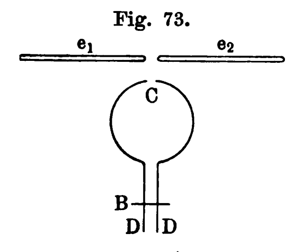
So grofs die mitgeteilten Zahlen übrigens auch erscheinen mögen, so bleiben sie doch weit hinter denjenigen der Lichtschwingungen zurück; noch gröfser ist der Abstand von den unsichtbaren Schwingungen der sogenannten ultravioletten Strahlen, die sich durch ihre intensiven elektrischen und photochemischen Wirkungen auszeichnen. Anderseits sind die mitgeteilten Schwingungszahlen pro Sekunde grofs im Vergleich mit denjenigen, durch welche die Töne erzeugt werden. Es ist aber nicht schwer, Oszillatoren herzustellen, deren Periode gröfser, deren Schwingungszahl also geringer ist als die der beschriebenen, und es ist sogar möglich, bis zu Perioden zu gelangen, wie sie sehr tiefen Tönen entsprechen. Natürlich ist es bei Oszillatoren, welche derart grofse Wellenlängen erzeugen, nicht möglich, die letzteren nach der Methode der stationären Wellen zu bestimmen, weil die hierfür notwendige reflektierende Wand eine praktisch unerreichbare Gröfse besitzen müfste. Um in solchen Fällen die Schwingungsperiode und damit die Wellenlänge zu bestimmen, kann man sich des Funkenbildes bedienen, welches sich nach der Methode von Feddersen oder einem ähnlichen Verfahren gewinnen läfst; bei der Ausführung stöfst man freilich auf bedeutende Schwierigkeiten. Trotzdem ist es Decombe gelungen, auf diese Weise die Periode eines Oszillators zu messen, dessen Schwingungszahl ungefähr 5 Millionen in der Sekunde betrug. Auf dem photographischen Bilde, welches er nach dem angedeuteten Verfahren erhielt, konnte man die einzelnen Schwingungen deutlich erkennen; dieselben waren alle von gleicher Dauer. Dadurch ist bestätigt, dafs ein Oszillator eine eigene Schwingungsdauer besitzt und dafs die Erscheinung der

vielfachen Resonanz sich nicht durch die Annahme erklären läſst, die Schwingungen eines Oszillators seien eine Aufeinanderfolge einer groſsen Zahl von Schwingungen verschiedener Perioden.

Neuere Untersuchungen haben allerdings gezeigt, daſs ein Oszillator auſser einer Schwingung, die man als Grundschwingung bezeichnen kann, noch raschere Schwingungen erzeugt, die den Obertönen der Akustik entsprechen. Aber es handelt sich um Schwingungszahlen, die im allgemeinen zu der Grundschwingung in einfachen Verhältnissen stehen und nicht, wie einige Forscher zur Erklärung der vielfachen Resonanz angenommen hatten, sich an die Grundschwingung in kontinuierlicher Folge anschlieſsen.

Die erwähnten Untersuchungen wurden von Kiebitz [13]) nach folgendem Verfahren ausgeführt. Vor einem Oszillator, der aus zwei in gerader Linie angeordneten metallenen Stäben oder Drähten e_1 und e_2 (Fig. 73) besteht, befindet sich ein kreisförmiger Resonator, an den sich zwei parallele Drähte *DD* anschlieſsen. Vermittelst einer Brücke *B*, welche auf diesen Drähten gleitet, läſst sich die nutzbare Länge derselben variieren, und man findet durch schrittweise Verschiebung der Brücke eine erste Lage, für welche an der Unterbrechungsstelle *C* des Resonators lebhafte Funken auftreten; bei weiterer Annäherung der Brücke an den Kreis findet man noch andere Stellen, für welche die Stärke der Funken in *C* jedesmal ein Maximum, wenn auch in weniger ausgesprochenem Grade, erreicht. Dies beweist, daſs der geradlinige Oszillator neben der Grundschwingung noch andere Schwingungen von kürzerer Periode und geringerer Intensität erzeugt. Verschiebt man den Resonator seitwärts, während er auf eine dieser Oberschwingungen abgestimmt ist, so werden die Funken in demselben bald schwächer, bald stärker; daraus ergibt sich, daſs längs der Drähte e_1 und e_2 Stellen, an welchen die betreffende Schwingung am intensivsten ausgebildet ist, mit anderen Stellen abwechseln, an welchen dieselbe gänzlich fehlt. Es zeigt sich also, daſs auf den Drähten e_1 und e_2 Schwingungsknoten und Bäuche bestehen, nach Art derjenigen, die mittels der Versuche festgestellt wurden, auf welche sich die Fig. 57 bezieht. Durch Bestimmung der Wellenlänge des Resonators ergibt sich ferner diejenige der betreffenden Schwingung des Oszillators. Kiebitz fand, daſs die Schwingungs-

Fig. 73.



zahlen der gleichzeitig in dem Oszillator stattfindenden Schwingungen zueinander im Verhältnis der ungeraden Zahlenreihe 1:3:5 . . . stehen. So betrugen z. B. für einen Oszillator von $2^1/_2$ m Gesamtlänge die Drahtlängen des Resonators, welche Maxima der Funken ergaben, beziehungsweise 248 cm, 83 cm (d. i. ungefähr $^1/_3$ von 248), 50 cm (etwa $^1/_5$ von 248) u. s. f. Mit Hilfe besonderer Resonatoren von immer kleineren Dimensionen liefs sich ferner das Vorhandensein sehr hoher Schwingungen feststellen, bis zur siebzehnten, der ein Resonator von etwa 14 cm Drahtlänge entsprach.

Man hat einen Oszillator mit einer offenen Orgelpfeife verglichen. Die Luft in einer solchen Pfeife schwingt bekanntlich in der Weise, dafs in der Mitte der Pfeifenlänge ein Knoten und an jedem Ende ein Bauch entsteht; bei einem Oszillator liegen, wie man weifs, an den Enden Bäuche, in der Mitte ein Knoten der elektrischen Kraft. Ein langer geradliniger Oszillator verhält sich wie eine Orgelpfeife, die aufser ihrer Grundschwingung gleichzeitig noch höhere Töne von sich zu geben vermag.

Ein Unterschied besteht allerdings insofern, als die Schwingungszahlen der verschiedenen Töne einer Orgelpfeife zueinander im Verhältnis der ganzen Zahlen 1:2:3 u. s. w. stehen, während in der Reihe der Oberschwingungen eines Oszillators die den geraden Zahlen angehörigen fehlen. Jeder Oberschwingung der Orgelpfeife entspricht nun eine andere Einteilung derselben durch Knoten und Bäuche; an den Enden befinden sich stets Bäuche, in der Mitte liegt ebenfalls ein Bauch oder ein Knoten, je nachdem die betreffende Oberschwingung von gerader oder ungerader Ordnung ist. Man kann also sagen, ein Oszillator verhalte sich wie eine Orgelpfeife, in der nur diejenigen Schwingungen stattfinden können, welche in der Mitte derselben einen Knoten haben.

Es liegt deshalb näher, den Oszillator mit zwei aneinandergereihten Orgelpfeifen zu vergleichen, die an den einander benachbarten Enden geschlossen, an den voneinander entfernten Enden offen sind. Eine am einen Ende geschlossene, am anderen offene Pfeife vermag nämlich, wie bekannt, aufser der Grundschwingung eine Reihe höherer Töne von sich zu geben, deren Schwingungszahlen beziehungsweise gleich dem Dreifachen, Fünffachen, Siebenfachen u. s. w. der Schwingungszahl des Grundtones sind.

Die Analogie zwischen einem Oszillator und einem System zweier Orgelpfeifen erstreckt sich aber noch weiter. Eine Orgel-

pfeife erzeugt, wenn sie nicht eine im Verhältnis zum Querschnitt sehr grofse Länge besitzt, neben der Grundschwingung nur wenige Oberschwingungen, und die Intensität dieser letzteren ist gering; ja die Orgelpfeife gibt, falls ihre Länge die übrigen Dimensionen nur wenig übertrifft, überhaupt nur den Grundton von sich. Ebenso erhält man mit einem Oszillator, der nicht aus zwei langen und dünnen Drähten, wie in Fig. 73, sondern aus zwei kurzen Zylindern, oder besser noch aus zwei Kugeln besteht, nur Schwingungen von einer einzigen Periode.

Sodann stehen bei einer Orgelpfeife, die nicht von zylindrischer oder prismatischer Gestalt ist, die Schwingungszahlen der Obertöne nicht immer in einfachem Verhältnis zu derjenigen des Grundtones. Das gleiche findet sich auch bei Oszillatoren, die nicht aus geraden Drähten oder Zylindern bestehen.

Diese Analogien zwischen den elektrischen Schwingungen und den Schwingungen der Luft in einer Orgelpfeife verdienten Erwähnung, weil sich auf Grund derselben gewisse Eigentümlichkeiten des Verhaltens der elektrischen Schwingungen im voraus erkennen lassen.

Von den speziell für die Telegraphie vermittelst elektrischer Wellen benutzten Oszillatoren wird im § 34 die Rede sein.

33. Die Indikatoren elektromagnetischer Wellen.

An das Studium der zur Erzeugung elektromagnetischer Wellen dienenden Apparate reiht sich naturgemäfs die Betrachtung der Vorrichtungen, mit deren Hilfe wir das Vorhandensein derartiger Wellen zu erkennen und ihre Eigenschaften sowie ihr Verhalten zu studieren vermögen. Von diesen Indikatoren sind viele nichts weiter als Abänderungen des Hertzschen Resonators und verfolgen nur den Zweck, das Auftreten von Schwingungen in demselben leichter erkennbar zu machen. Andere Apparate dagegen, welchen die Bezeichnung als Indikatoren mit mehr Recht zukommt, erfüllen lediglich die Aufgabe, in dem Stromkreise, welchem sie angehören, das Auftreten von Wellen anzuzeigen, ohne dafs sie dabei als Resonatoren fungieren. Alles in allem kennt man heute 22 verschiedene Arten von Indikatoren; wir werden dieselben der Reihe nach durchgehen und verweisen den Leser, der sich über den einen oder anderen derselben genauer zu informieren wünscht, auf die am Schlusse des Kapitels zusammengestellten Quellenangaben.

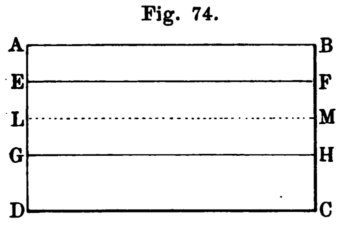
1. In chronologischer Reihenfolge der erste ist der Hertzsche kreisförmige oder geradlinige Resonator, den wir bereits in § 30 beschrieben haben. In dem Drahte dieses Resonators finden ähnlich wie in einer Orgelpfeife Resonanzschwingungen statt mit Bäuchen an den Enden und einem Knoten in der Mitte. Bringt man die Enden des Drahtes einander bis auf einen kleinen Abstand nahe, so gleichen sich die daselbst vorhandenen oszillatorischen Potentiale, die in jedem Augenblick von entgegengesetztem Vorzeichen sind, in Gestalt von Funken aus. Bei dem geradlinigen Resonator müssen die Dinge etwas anders liegen. Zu Beginn der Einwirkung der Wellen auf denselben mufs jede Hälfte des Resonators für sich Resonanzschwingungen ausführen; da aber an den einander benachbarten Enden der beiden Hälften stets entgegengesetzte Potentiale herrschen, so erfolgt, wenn die Entfernung hinreichend klein ist, der Ausgleich durch einen Funken. Von diesem Augenblicke an stehen die beiden Hälften des Resonators durch den Funken miteinander in Verbindung und bilden einen einzigen Leiter, in dem nunmehr Resonanzschwingungen auftreten. Durch die Erscheinung der vielfachen Resonanz erklärt es sich, wieso zwei Resonatoren, von denen einer ungefähr die doppelte Schwingungsdauer des anderen besitzt, auf denselben Oszillator ansprechen können. Ferner wird auf die angegebene Weise verständlich, weshalb an jedem Ende des geradlinigen Resonators ein Schwingungsbauch erscheint und ein Knoten gerade in der Mitte, an der Übergangsstelle der Funken, welche von dem Vorhandensein der Schwingungen Kenntnis geben.

2. Der Verf. dieses Abschnittes [19]) hat den geradlinigen Resonator etwas abgeändert, um ihm eine gröfsere Empfindlichkeit zu geben. Da rasche elektrische Schwingungen in die Masse eines Leiters überhaupt nicht eindringen, so darf der Leiter, welcher als Resonator dient, eine sehr geringe Dicke besitzen; er kann z. B. aus der dünnen Silberschicht der gewöhnlichen Spiegel bestehen, und es ist sogar wahrscheinlich, dafs diese Verminderung der Dicke Vorteile mit sich bringt. Anderseits ist es bekannt, dafs Funken, welche auf einer Glasfläche hingleiten, bei gleicher Potentialdifferenz eine gröfsere Länge erreichen als frei in Luft überspringende Funken. So kam der Verfasser auf den Gedanken, als Resonator einen Spiegelstreifen zu benutzen, dessen Silberbelag in der Mitte entzweigeschnitten ist. Die Herstellung dieser Resonatoren wird an der Hand der Fig. 74 (a. f. S.) ohne weiteres verständlich sein.

Von einem Stück Spiegel, wie man ihn im Handel erhält, entfernt man zuerst auf der ganzen Fläche den Firnis und dann von zwei äufseren Streifen *ABFE* und *GHCD* auch den Silberbelag, so dafs von diesem nur ein mittlerer Streifen *EFHG* übrig bleibt. Vermittelst eines besonderen Apparates zieht man hierauf mit der feinen Spitze eines Gravierdiamanten eine gerade Linie *LM* durch die Mitte des Silberstreifens. Dieser wird dadurch in zwei gleiche Teile zerschnitten, die durch einen Spalt von 2 bis 3 Tausendstel Millimeter Breite voneinander getrennt sind. Mit einem gewöhnlichen Glaserdiamanten zerschneidet man endlich die ganze Glasplatte parallel zu den Seiten *AD* und *BC* in eine Anzahl gleichbreiter Streifen, von denen jeder für sich ein vollständiger Resonator ist.

Je nach den Dimensionen dieser Resonatoren ist ihre Wellenlänge verschieden. Wäre die Breite des Silberstreifens, welcher den fertigen Resonator bildet, sehr gering, so würde die Wellenlänge ungefähr das Doppelte der Länge des Resonators (d. i. derjenigen Gröfse, die in Fig. 74 die Breite *EG* oder *FH* des Silberstreifens darstellt) betragen; in der Regel ist jedoch die Wellenlänge bedeutend gröfser. So besafsen die Resonatoren, welche bei den in § 34 zu beschreibenden Versuchen Verwendung fanden, bei 36 mm Länge und 2 mm Breite eine Wellenlänge von 106 mm.

Fig. 74.

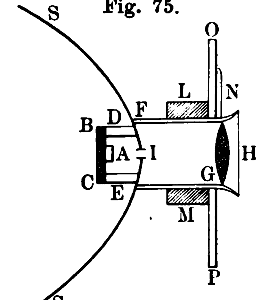


Die Empfindlichkeit dieser Resonatoren ist ungemein grofs. Sind sowohl der Resonator als der Oszillator mit ihren parabolischen Spiegeln (Fig. 70) versehen, so kann man, falls der Resonator noch wenig oder gar nicht benutzt worden war, bis auf 25 m Entfernung zwischen den beiden Apparaten im Resonator Funken erblicken, wenn man den Spalt desselben durch eine Lupe *K* betrachtet. Der Versuch wirkt auf jeden, der ihn zum ersten Male sieht, ungemein überraschend und es ist natürlich, dafs derselbe den Gedanken einer Ausführung in gröfserem Mafsstabe behufs Übertragung von Signalen entstehen liefs; auf alle Fälle wird es durch denselben verständlich, wieso man, wenn an Stelle des hier benutzten ein ungleich empfindlicherer Wellenindikator, etwa der unter Nr. 14 zu beschreibende, verwendet wird, die Wirkung des kleinen Dreifunkenoszillators noch bis auf weit gröfsere Entfernungen zu erkennen vermag.

Mit dem Gebrauch nimmt allerdings die Empfindlichkeit der beschriebenen Resonatoren zuerst rasch und dann langsamer ab; bei Untersuchungen von längerer Dauer, welche eine in gewissem Grade konstante Empfindlichkeit des Resonators verlangen, mufs man deshalb entweder, falls man stets über die höchste Empfindlichkeit verfügen will, den Resonator häufig wechseln, oder man verwendet besser, wenn eine derartige Empfindlichkeit nicht beansprucht wird, einen Resonator, welcher schon einige Zeit gedient hat.

Für optische Versuche versieht man den Resonator zweckmäfsig mit dem in Fig. 70 sichtbaren Konkavspiegel *L*, der ebenso wie derjenige des Oszillators anstatt der kugelförmigen eine zylindrische Gestalt besitzen kann. Der versilberte Glasstreifen des Resonators wird in *A* (Fig. 75) parallel zu den Mantellinien des Reflektors *SIS* aus Kupferblech auf einem Ebonitstreifen *BC* befestigt. Von diesem bis zu einer Öffnung *I* in dem Reflektor reicht eine Ebonitröhre *D*, durch welche der Spalt des Resonators, der sich vor dem einen Ende der Röhre befindet, vermittelst einer hinter dem Reflektor angebrachten Lupe *G* betrachtet wird. Diese ganze Vorrichtung dreht sich samt einem Zeiger *N* um die Achse einer Metallröhre *FG*, welche die Lupe trägt und von einem Stativ *ML* unterstützt wird. Dadurch kann man dem Resonator jede beliebige Neigung geben; dieselbe wird vermittelst des Zeigers *N* auf einer an dem Stativ *LM* befestigten Kreisteilung abgelesen.

Fig. 75.



3. Um die elektrischen Schwingungen in einem Hertzschen Resonator besser sichtbar zu machen, haben Dragoumis[20]) und andere den Vorschlag gemacht, den in Luft überspringenden Funken durch die Entladung in einem verdünnten Gase zu ersetzen.

4. Der Genannte schlug ferner vor, mit Hilfe eines photographischen Präparates, welches an der Stelle angebracht werden soll, wo die Funken sich bilden, diese letzteren auf indirektem Wege zur Wahrnehmung zu bringen[21]).

5. Lucas und Garret umgeben den Resonator, besonders für Demonstrationszwecke, mit einem explosiven Gase, z. B. einer Mischung von Wasserstoff und Sauerstoff oder von Wasserstoff und Chlor. Die Resonanz kündigt sich durch eine kleine Detonation an[22]).

6. Ein anderer von Dragoumis[23]) vorgeschlagener Kunstgriff besteht darin, die beiden Hälften des geradlinigen Hertzschen Resonators mit einem Stromkreise zu verbinden, in welchen eine galvanische Batterie und eine elektrische Klingel eingeschaltet ist. Der durch Resonanz hervorgerufene Funke soll vorübergehend den Stromkreis schliefsen und damit die elektrische Klingel in Tätigkeit versetzen.

7. Ein ähnliches Verfahren haben Boltzmann[24]) und andere Physiker gewählt. Die eine Hälfte des Resonators wird mit einem Elektroskop, die andere mit einem Pol einer galvanischen Batterie verbunden. Die Resonanzfunken stellen vorübergehend eine Verbindung zwischen den beiden Hälften her, und das Elektroskop zeigt die Ladung an, welche es auf solche Weise erhalten hat. Oder das Elektroskop wird, wie bei der Anordnung von Drude, gleichzeitig mit der einen Hälfte des Resonators und mit dem isolierten Pol einer Batterie verbunden, während die andere Hälfte des Resonators mit dem anderen Pol der Batterie oder mit der Erde in Verbindung steht. In diesem Fall führen die Funken die Entladung des Elektroskops herbei.

8. Birkeland[25]) und später Turpain[26]) bedienen sich der folgenden Anordnung. In den Resonator wird ein Kondensator eingeschaltet, dessen Belegungen mit den Enden des Stromkreises eines gewöhnlichen Bellschen Telephons in Verbindung stehen. Hält man dieses ans Ohr, so geben sich die elektrischen Schwingungen durch Geräusche kund.

9. Ein geistreiches Verfahren, welches die Wirkung der Resonanzschwingungen auch auf eine gewisse Entfernung zu zeigen gestattet, rührt von Zehnder[27]) her. Zehnders Apparat besteht aus einer Glasröhre (Fig. 76), deren Luftinhalt verdünnt und die mit fünf Elektroden versehen ist. Zwei von diesen, *a* und *b*, endigen innerhalb der Röhre in sehr geringer Entfernung voneinander in zwei kleinen Zylindern aus Aluminium und stehen mit den beiden Hälften eines geradlinigen oder mit den Enden eines kreisförmigen Resonators in Verbindung. Von zwei anderen Elektroden *c* und *e* führen Drähte zu den Polen einer Batterie von kleinen Akkumulatoren, deren Anzahl nur wenig geringer ist als diejenige, welche notwendig wäre, um die Röhre zwischen *c* und *e* zum Leuchten zu bringen. Eine fünfte Elektrode *f* dient dazu, vermittelst Elektrolyse durch das Glas eine gewisse Menge Natriumdampf, welcher die Entladung besonders leuchtend macht, in die Röhre

einzuführen. Zu diesem Zwecke läfst man den unteren Behälter *g* in erwärmtes Natriumamalgam tauchen und schickt einen Strom in der geeigneten Richtung vom Amalgam zur Elektrode *f*.

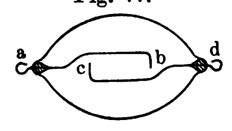
Wenn in dem Resonator Schwingungen entstehen, so springt zwischen den Elektroden *a* und *b* ein winziges Fünkchen über, welches die stark leuchtende Entladung der Akkumulatoren zwischen *c* und *e* alsbald gewissermafsen anzündet. Die Wirkung rührt vermutlich davon her, dafs das Gas durch die von der Entladung zwischen *a* und *b* erzeugten Elektronen eine gröfsere Leitfähigkeit erlangt hat.

Fig. 76.

10. Das unter 7. beschriebene Verfahren mit der Batterie und dem Elektroskop ist durch Drude[28]) in folgender Weise abgeändert worden. Die Enden des Resonators, zwischen denen der Funke entstehen soll, werden durch die kleinen Aluminiumzylinder *a* und *b* (Fig. 76) der Zehnderschen Röhre gebildet. Einer derselben ist zur Erde abgeleitet, der andere steht mit dem isolierten Pol der Batterie und mit dem Elektroskop in Verbindung. Die Schwingungen im Resonator bewirken eine teilweise Entladung des Elektroskops, welches sich jedoch wieder lädt, sobald dieselben aufhören. Die Elektroden *c*, *e* und *f* der Röhre sind bei diesem Verfahren überflüssig.

11. Ein Wellenindikator, welcher eine aufserordentlich grofse Empfindlichkeit erlangen kann, wurde vom Verfasser dieses Abschnittes hergestellt[29]). In eine kleine Glasröhre, deren Luftinhalt verdünnt ist, ragen zwei Platindrähte *ab* und *cd*, deren spitze Enden, wie Fig. 77 zeigt, gegeneinander gebogen sind. Die Spitze jedes Drahtes kommt dem anderen bis auf sehr geringe Entfernung nahe, ohne denselben jedoch zu berühren. Die beiden Drähte stehen mit den Polen einer Voltaschen Batterie (Kupfer, Wasser, Zink) in Verbindung; die Zahl der Elemente, aus welchen die Batterie besteht, ist um weniges geringer als diejenige, welche erforderlich wäre, um den Übergang des Stromes zwischen den Spitzen und den Drähten zu veranlassen. Zwei metallene Stangen oder Streifen, welche einen

Fig. 77.



geradlinigen Resonator bilden, können die Drähte aufserhalb der Röhre verlängern. Wenn in dem Resonator elektrische Schwingungen erregt werden, so kommt in dem Stromkreise der Batterie ein Strom zu stande, und die Nadel eines in diesen Stromkreis eingeschalteten Galvanometers wird abgelenkt.

Dieser Indikator kann an Stelle der für die drahtlose Telegraphie benutzten Radiokonduktoren (s. weiter unten Nr. 14) treten, da er nach Untersuchungen von Tuma [30]) einen ähnlichen Grad von Empfindlichkeit besitzt wie diese Apparate. Vor den gewöhnlichen Radiokonduktoren bietet er den Vorteil, dafs nach dem Aufhören der Einwirkung der Wellen sein Widerstand, ohne dafs hierzu Erschütterungen notwendig sind, den ursprünglichen Betrag wieder annimmt.

12. Gibt man der Röhre gröfsere Dimensionen und den Elektroden eine besondere Gestalt, so erhält man einen Indikator,

Fig. 78.



der den soeben erwähnten Vorteil gewährt und zugleich das Galvanometer überflüssig macht [31]). Bei einer dieser für elektrische Wellen empfindlichen Röhren besteht z. B. die positive Elektrode aus einer Aluminiumscheibe und die negative aus einem dicken Aluminiumdraht mit abgerundetem Ende. Solange

keine elektrischen Wellen auf die Röhre einwirken, bleibt dieselbe beinahe dunkel, und man gewahrt nur ein schwaches Leuchten auf der Scheibe, wie dies im unteren Teile der nach photographischen Aufnahmen hergestellten Fig. 78 sichtbar ist. Wirken jedoch Wellen auf die Röhre, so nimmt die Erscheinung den in der oberen Hälfte der Abbildung wiedergegebenen Charakter an: auf der Scheibe zeigt sich eine hell leuchtende Säule, die oft noch in mehrere Schichten geteilt ist, und den Draht umgibt das charakteristische negative Glimmlicht.

13. Auch ohne eine luftverdünnte Röhre hat Precht[32]) eine ähnliche, freilich weniger gut sichtbare Erscheinung erhalten. Zwei Elektroden, die eine zugespitzt, die andere kugelförmig, stehen mit einer Elektrisiermaschine in Verbindung, deren Tätigkeit so reguliert ist, dafs auf der Spitze das bekannte Büschellicht erscheint, während eine Funkenentladung zwischen den Elektroden zwar nicht stattfindet, aber bei der kleinsten Verringerung des Abstandes zwischen denselben sofort eintreten würde. Der erforderliche Grad von Empfindlichkeit ist vorhanden, wenn schon leichtes Blasen gegen die Elektroden die Funkenentladung einleitet. Dann wird die gleiche Veränderung im Charakter der Entladung auch durch die Fünkchen eines in der Nähe der Kathode befindlichen Resonators hervorgerufen. Auf einfachere Weise erreicht man das gleiche, wenn man die Spitze und Kugel an den beiden Hälften eines geradlinigen Resonators anbringt.

14. Der empfindlichste unter sämtlichen Indikatoren für elektrische Wellen ist ohne Zweifel derjenige, der von Lodge mit dem Namen Kohärer (coherer) und von Branly mit dem Namen Radiokonduktor belegt wurde. Derselbe beruht auf der von Calzecchi-Onesti[33]) und anderen beobachteten Erscheinung, dafs ein Metallpulver unter gewissen Bedingungen für den elektrischen Strom leitend wird. Befindet sich das Metallpulver in einer isolierenden Röhre und ist dasselbe durch Vermittelung von zwei Elektroden in den Stromkreis einer galvanischen Batterie und eines Galvanometers eingeschaltet, so bewirkt die geringste elektrische Störung, die in einer gewissen Entfernung etwa durch eine oszillierende Entladung hervorgerufen wird, eine plötzliche Abnahme des Widerstandes, welchen das Pulver dem Durchgang des Stromes entgegensetzt, und die Nadel des Galvanometers wird abgelenkt. Eine Erschütterung der Röhre oder des Stativs, von welchem die Röhre getragen wird, reicht hin, um den anfänglichen Widerstand

wieder herzustellen und das Pulver somit für eine neue Einwirkung elektromagnetischer Wellen vorzubereiten. Die geschilderte Erscheinung ist in den letzten Jahren Gegenstand zahlreicher Studien gewesen, welche eine Reihe von Eigentümlichkeiten derselben zu Tage gefördert haben; es erscheint darum angezeigt, derselben eine ausführlichere Betrachtung zu widmen (s. Kap. 3 dieses Teiles).

Die Wellenindikatoren, mit denen wir uns nunmehr zu befassen haben, treten — mit Ausnahme des ersten, bei dem dies zweifelhaft ist — in Tätigkeit, auch ohne dafs die elektrischen Schwingungen sich in Form von Funken äufsern.

15. Neugschwender[34]) stellt einen Indikator für elektrische Wellen auf folgende Weise her. Zwischen den beiden Teilen eines geradlinigen Resonators, etwa den beiden Teilen der dünnen Metallschicht, welche den vom Verfasser dieses Abschnittes konstruierten Resonator bildet, der unter Nr. 2 beschrieben ist, wird vermittelst einer dünnen Flüssigkeitsschicht eine leitende Verbindung hergestellt. Werden in dem Resonator elektrische Schwingungen erregt, so steigt vorübergehend der Widerstand, welchen die Flüssigkeit einem durch dieselbe gehenden elektrischen Strome darbietet, und die Intensität des letzteren wird demgemäfs geringer. Betreffs der Versuche zur Erklärung dieses Vorganges verweisen wir auf das dritte Kapitel dieses Teiles.

16. Ein Froschpräparat, wie es zu dem bekannten Versuche Galvanis dient, läfst sich nach Ritter[35]) als Wellenindikator verwenden, indem man einen der Schenkelnerven in einen Resonator einschaltet.

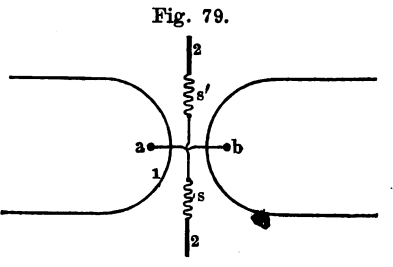
17. Gregory[36]) benutzt die Ausdehnung, welche der Resonator durch die von den Wellen in ihm entwickelte Wärme erleidet. Vermittelst empfindlicher Vorrichtungen läfst sich diese Ausdehnung bemerkbar machen, auch wenn sie nur sehr geringfügig ist.

18. Klemenčič[37]) und andere verwerten die von den elektrischen Wellen im Resonator entwickelte Wärme zur Erzeugung thermoelektrischer Ströme. Man erhält auf diese Weise einen Indikator, welcher die Wellen nicht nur anzeigt, sondern gleichzeitig auch ein Mafs für die Intensität derselben liefert. Der Resonator besteht aus zwei Metallstreifen, von welchen in Fig. 79 die einander zugewendeten, abgerundeten Enden sichtbar sind. Zwei Drähte as und bs' aus verschiedenen Metallen sind an diese Enden gelötet und werden, nachdem sie einander gekreuzt haben,

mit Kupferdrähten verbunden, die zu einem empfindlichen Galvanometer führen. Die von den Schwingungen entwickelte Wärme steigert die Temperatur der Berührungsstelle der beiden Drähte und erzeugt einen thermoelektrischen Strom, dessen Intensität durch das Galvanometer gemessen wird.

Zu einer ähnlichen Anordnung griff auch Lebedew, um einen zu seinem kleinen Oszillator passenden Indikator zu erhalten. Noch genauer hat sich zu dem gleichen Zwecke neuerdings Pierce[38]) an die von Klemenčič geschaffene Versuchsanordnung gehalten.

Fig. 79.



19. Ein Wellenindikator, der dank seiner bedeutenden Empfindlichkeit auch für telegraphische Zwecke gut verwendbar ist, rührt von Rutherford[39]) her. Ein Teil des Drahtes, aus welchem der Resonator besteht, ist in Schraubenwindungen um eine magnetisierte Stahlnadel geführt. Die elektrischen Schwingungen beeinflussen die Magnetisierung der Nadel und erteilen dadurch einer zweiten, in der Nähe aufgehängten Magnetnadel Ablenkungen, die sich in bekannter Weise mit Hilfe eines Spiegels beobachten lassen.

20. Sind die einander zugewendeten Enden der beiden Leiter, welche einen geradlinigen Resonator bilden, mit zwei einander nahen Leitern verbunden, von welchen einer beweglich ist, so führt die Anziehung, welche diese beiden Leiter aufeinander ausüben, wenn in dem Resonator elektrische Schwingungen auftreten, zu einer Ablenkung des beweglichen Leiters, und diese liefert ein Mafs für die Intensität der Wellen, von welchen die Wirkung ausgegangen ist. Indikatoren dieser Art wurden von Blyth[40]), von Bjerknes[41]) und von anderen konstruiert. Bei dieser Anordnung treten zwischen den beiden Hälften des Resonators keine Funken auf, und es scheint daher, dafs jede der beiden Hälften tatsächlich als ein gesonderter Resonator wirkt.

21. Nach Aschkinafs[42]) sinkt der Leitungswiderstand eines Gitters aus Streifen von dünnem Stanniol, wenn dasselbe durch elektromagnetische Wellen beeinflufst wird. Darauf beruht ein besonderer Wellenindikator, der auch von Mizuno näher untersucht wurde.

22. Zu erwähnen bleibt uns schliefslich noch ein von **Minchin**[43]) konstruierter Wellenindikator. Der Genannte hatte Untersuchungen angestellt über eine Klasse von galvanischen Elementen, die gegen das Licht empfindlich sind, d. h. deren Strom bei geeigneter Belichtung des Elementes seine Stärke ändert. Mit der Zeit verlieren diese Elemente ihre Empfindlichkeit, erlangen dieselbe jedoch wieder, wenn sie von elektromagnetischen Wellen getroffen werden. Es scheint allerdings, als ob die Ursache dieses Verhaltens in dem Vorhandensein eines unvollkommenen Kontakts zu suchen wäre; der Wellenindikator von **Minchin** würde dann zur Klasse der Radiokonduktoren gehören.

Die Hilfsmittel, durch welche sich die Gegenwart elektromagnetischer Wellen nachweisen läfst, sind, wie man sieht, ungemein zahlreich. Und wenn auch bis jetzt nur das eine oder andere von denselben, ja man kann sagen, überhaupt nur ein einziges, für die Bedürfnisse der Praxis Verwendung gefunden hat, so können doch auch die anderen in besonderen Fällen schon jetzt von Nutzen sein oder in Zukunft durch Verbesserungen dazu geeignet werden. Es empfiehlt sich darum, auch diese nicht aus dem Gesichtskreise zu verlieren.

34. Die Übertragung von Signalen mit Hilfe Hertzscher Wellen.

Das Studium der Verfahren, welche sich dazu eignen, mit Hilfe der elektromagnetischen Wellen Nachrichten auf grofse Entfernungen zu übermitteln, bildet den Hauptgegenstand dieses Buches und wird im dritten Teile eine eingehende Behandlung finden. In dem gegenwärtigen Paragraphen sollen daher nur einige Tatsachen allgemeiner Natur Erwähnung finden, die mit dem Inhalt der vorhergegangenen Paragraphen dieses Kapitels, d. h. mit der Ausbreitung der Wellen überhaupt und mit den zur Erzeugung und zum Nachweis der Wellen dienenden Apparaten in unmittelbarer Beziehung stehen.

Von den Apparaten, mit welchen man im Laboratorium die Eigenschaften der elektromagnetischen Wellen zu studieren pflegt, unterscheiden sich die in der drahtlosen Telegraphie benutzten schon auf den ersten Blick durch die unsymmetrische Anordnung sowohl des Oszillators wie des Wellenindikators. Mit dem einen wie dem anderen dieser Apparate ist nämlich ein langer vertikaler Draht verbunden. Dieser Leiter, dem der Name **Antenne**

gegeben wurde, hat sich als notwendig erwiesen, wenn die Wirkung der elektrischen Wellen auf grofse Entfernungen übertragen werden soll, mag er auch überflüssig sein, wenn die Wellen nur auf geringe Entfernungen, etwa von einem Raum bis in einen anderen desselben Gebäudes, wirken sollen. Versuche dieser letzteren Art wurden von Lodge im Jahre 1889 veröffentlicht[44]. Als in einer grofsen Galerie ein Hertzscher Oszillator, dessen Wellenlänge der Berechnung zufolge ungefähr 29 m betrug, in Tätigkeit versetzt wurde, traten nicht allein in allen unmittelbar benachbarten Leitern, sondern auch in solchen, die sich in anderen Räumen des Gebäudes befanden, oszillatorische elektrische Erscheinungen auf, und man konnte aus diesen Leitern, etwa den Röhren der Gas- oder Wasserleitung, wenn man denselben einen in der Hand gehaltenen Leiter oder den Knöchel eines Fingers näherte, elektrische Funken ziehen. Wo überhaupt zwei Leiter einander genügend nahe kamen, sprangen zwischen denselben Funken über, und es gelang sogar auf diese Weise, von der Ferne aus eine Bogenlampe zum Brennen zu bringen, ohne dafs die Kohlen derselben vorher miteinander in Berührung gekommen wären. Ein empfindlicher Indikator, etwa einer von den Radiokonduktoren, würde das Auftreten der Wellen noch auf gröfsere Entfernungen kenntlich gemacht haben.

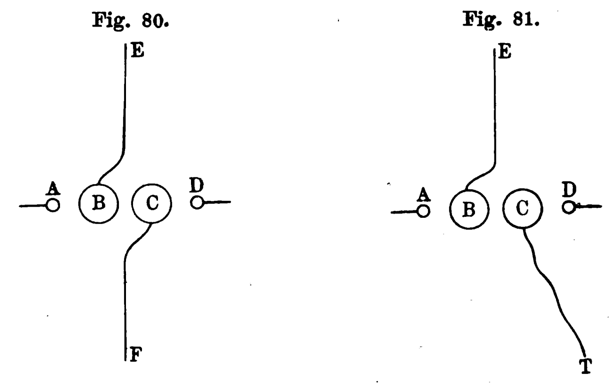
Die Verwendung der Antenne zur Übertragung von Signalen auf grofse Entfernungen findet sich wahrscheinlich zum ersten Male bei den Versuchen, die ein gewisser Mahlon Loomis[45] im Jahr 1872 anstellte. Zu diesen Versuchen, die eine Telegraphie ohne Draht bezweckten, bediente sich der Genannte langer, von Drachen getragener Drähte. Die Ergebnisse waren jedoch nichts weniger als zufriedenstellend, und die Versuche, die weiter nichts Bemerkenswertes darboten, blieben auch so gut wie unbekannt. Eine bessere Beurteilung verdienen die Versuche von Popoff, der allerdings, wie wir später noch erfahren werden, den Radiokonduktor zunächst nicht zur Übertragung von Nachrichten, sondern nur zum Studium der atmosphärischen Elektrizität benutzte. Zu diesem Zwecke verband er, um die Wirkung ferner Gewitterentladungen besser aufzufangen, mit dem Indikator einen langen Draht, der frei der Luft ausgesetzt wurde.

Auch der von Marconi benutzte Oszillator — der sich in seiner ursprünglichen Form in keiner Beziehung von dem Dreifunken-Oszillator unterscheidet, dessen mittlerer Funke häufig in

einer isolierenden Flüssigkeit überspringt — ist in der Regel mit einem langen vertikalen Leiter, also mit einer Antenne, verbunden.

Es handelt sich nun darum, die Wirkungsweise der Antenne zu erklären. Zu diesem Zwecke wollen wir zunächst annehmen, mit den Kugeln *B* und *C* (Fig. 80) eines Oszillators, der ganz mit dem in Fig. 68 abgebildeten übereinstimmen kann, seien zwei Antennen *BE* und *CF* verbunden, von welchen eine die Verlängerung der anderen bilden soll. Unzweifelhaft gelangen wir dadurch zu einem neuen Oszillator, der aus den beiden Leitern *BE*

Fig. 80. Fig. 81.

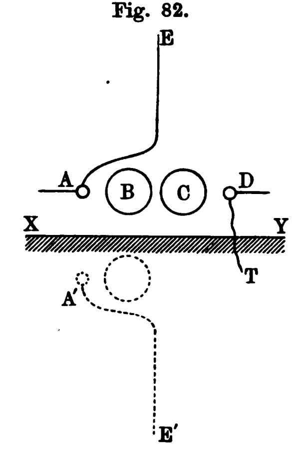


und *CF* besteht und viel längere Wellen erzeugen mufs, als vorher das System der beiden Kugeln *B* und *C*; denn durch die Hinzufügung der beiden Drähte ist sowohl die Kapazität wie die Selbstinduktion des Systems gesteigert worden. Wie bei jedem geradlinigen Oszillator, so werden auch hier die Potentialschwankungen an den Enden *E* und *F* Bäuche aufweisen, und an der Stelle *BC*, wo die Funken überspringen, wird ein Knoten vorhanden sein. In der Tat sahen wir ja in § 32, dafs jede Hälfte des Oszillators sich wie eine gedeckte Orgelpfeife verhält, bei welcher ebenfalls an einem Ende ein Schwingungsbauch, am anderen Ende ein Knoten zu stande kommt. Es liegt deshalb die Annahme nahe, dafs die Antenne *BE* sich auch dann noch ebenso verhält, wenn die andere Antenne *CF* beseitigt, und statt dessen die Kugel *C* mit dem Erdboden *T* (Fig. 81) in Verbindung gesetzt wird. Verbindet man nunmehr die Antenne, anstatt mit einer der Kugeln des eigentlichen Oszillators, mit der Kugel *A*, von welcher ein Leiter zu dem einen Pol der Elektrizitätsquelle (Influenzmaschine oder Induktionsapparat) führt, und wird anderseits die Erdverbindung, anstatt an die zweite Kugel des Oszillators, an die

zum zweiten Pol der Elektrizitätsquelle führende Kugel *D* gelegt, so nimmt der Oszillator die in Fig. 82 skizzierte Gestalt an. Es ist nicht unwahrscheinlich, dafs auch dann noch die elektrischen Schwingungen in der Antenne ganz in derselben Weise vor sich gehen, wie wenn dieselbe mit der Kugel *B* in Verbindung stünde, und dafs der Funke, der zwischen *A* und *B* gleichzeitig mit denjenigen zwischen *B* und *C* und zwischen *C* und *D* auftritt, in gewissem Sinne die Antenne bis nach *B* verlängert.

Die in der Fig. 82 skizzierte Anordnung ist es, welche der junge Bologneser Erfinder Marconi wählte, als ihm der glückliche Gedanke kam, den Versuch mit den elektrischen Wellen in grofsem Mafsstabe auszuführen und ihn zur Übertragung von Nachrichten auf weitere Entfernungen zu benutzen.

Fig. 82.



In Frankreich hat vor einiger Zeit Tissot[46]) gefunden, dafs die Anordnung der Fig. 81 gleich gute Resultate liefert wie diejenige der Fig. 82; damit bestätigt sich, dafs die beiden Anordnungen einander in der Tat gleichwertig sind.

Die Wellen werden also von der Antenne auf die nämliche Weise erzeugt, wie bei Laboratoriumsversuchen von jeder der beiden Hälften eines geradlinigen Oszillators. Eine Bestätigung findet diese Auffassung in den Versuchen, die Lindemann[47]) im Jahre 1900 ausführte; dieser fand nämlich, dafs ein Oszillator vom Typus der Fig. 81 oder 82 Wellen aussendet, deren Periode die der Antenne entsprechende ist, wenn sich auch über diese Wellen noch andere, wesentlich kürzere lagern, die von den Schwingungen des Systems der beiden Kugeln *B* und *C* herrühren.

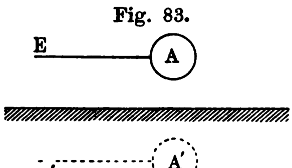
In der Regel wird die Antenne ganz oder nahezu senkrecht aufgestellt, da man auf diese Weise die besten Ergebnisse erhält. Diese Tatsache, die immer wieder von neuem zu Tage tritt, läfst sich auf folgende Weise erklären.

Die von der Antenne erzeugten Wellen werden je nach den Verhältnissen vom Erdboden oder der Meeresoberfläche zurückgeworfen, und die zurückgeworfenen verbinden sich mit den direkt ausgesandten Wellen. Bekanntlich erfahren ja die elektromagnetischen ganz ebenso wie die Lichtwellen an der Oberfläche so-

wohl der Leiter wie der Isolatoren eine Zurückwerfung. Die von der Antenne ausgesandten und von dem darunter liegenden horizontalen Boden XY (Fig. 82) zurückgeworfenen Wellen verhalten sich nun, wie wenn sie von einer zweiten Antenne $A'E'$ herrührten, deren Lage zu derjenigen der Antenne AE symmetrisch und deren elektrische Ladung derjenigen der wirklichen Antenne in jedem Augenblick entgegengesetzt ist. Das heifst, sie verhalten sich, wie wenn sie von der zweiten Antenne CF der Fig. 80 kämen, welche mit der Antenne AE einen vollständigen Oszillator bildet.

Liegt dagegen die Antenne AE horizontal (Fig. 83), so läfst sich das Verhalten derselben mit demjenigen einer zweiten Antenne $A'E'$ vergleichen, welche zu der ersten symmetrisch ist und deren Ladungen auch in diesem Falle in jedem Augenblick derjenigen der Antenne AE entgegengesetzt sind. Nur ist jetzt, wie leicht einzusehen und wie es noch deutlicher aus einem der Reflexionsversuche des folgenden Paragraphen hervorgehen wird, die Wirkung der Antenne $A'E'$ derjenigen der Antenne AE entgegengesetzt.

Fig. 83.



Auf diese Weise erklärt sich der Einflufs der Antenne und ihre gröfsere Wirksamkeit bei vertikaler Aufstellung. Ähnliches gilt, wenigstens zum Teil, für die Antenne, die an der Station, welche die Signale zu empfangen hat, mit dem Radiokonduktor verbunden ist.

Die dargelegte Erklärung entspringt einer persönlichen Ansicht des Verfassers, die noch keine allseitige Annahme gefunden hat. Es sind gegen dieselbe Einwände erhoben worden, und man hat andere Erklärungsweisen vorgeschlagen.

So hat man z. B. geltend gemacht, dafs es nach der entwickelten Auffassung möglich sein müfste, die Antenne durch einen kürzeren Leiter von gröfserem Durchmesser zu ersetzen und auf solche Weise den Übertragungsapparat, ohne seine Wirksamkeit herabzusetzen, in einen gewöhnlichen Oszillator zu verwandeln; aber man hat hierbei vielleicht nicht bedacht, dafs die während einer Schwingung von einem Oszillator ausgestrahlte Energie von der Gestalt desselben abhängt und dafs diese vor allem es ist, welche die Wirkung der Wellen in einer gewissen Entfernung von ihrer Ausgangsstelle bestimmt.

Anderseits ist die lange Antenne der Empfangsstation besser als ein breiter und kurzer Leiter geeignet, die Energie der ankommenden Wellen aus dem Raume aufzunehmen.

Einige Erklärungsweisen der Wirkung der Antenne können wir übergehen, weil sie mit wohlbegründeten Tatsachen in Widerspruch stehen. Dies ist z. B. der Fall bei den Erklärungen, die von der Hypothese ausgehen, die Schwingungsdauer der ausgesandten Wellen sei diejenige des Systems der beiden Kugeln, zwischen welchen der mittlere Funke überspringt; wie bereits gesagt wurde, kann es heute als sicher gelten, dafs die Schwingungsdauer der Wellen, welche in der Telegraphie Verwendung finden, vor allem die der Antenne zukommende ist, und diese Schwingungen haben natürlich eine viel längere Periode.

Nach der Ansicht einiger Forscher wäre die Wirkung der Antenne des Sendeapparates auf Grund des Poyntingschen Prinzips zu erklären, wonach die Ausbreitung der Energie senkrecht zur Richtung der elektrischen und der magnetischen Kraft erfolgt. Die erste dieser Kräfte, so wird angenommen, steht senkrecht zur Antenne, die zweite steht senkrecht zur Antenne und gleichzeitig zur elektrischen Kraft; demnach pflanzt sich die Energie der oszillierenden Entladung zuerst parallel zur Antenne bis zum Ende derselben fort, und von hier aus soll sie sich in horizontaler Richtung ausbreiten, weil die magnetische Kraft dort keine bestimmte Richtung mehr besitzt. Hiergegen läfst sich jedoch bemerken, dafs in der Antenne elektrische Schwingungen ihren Sitz haben, dafs sich aber keineswegs Schwingungen oder Ströme in derselben fortpflanzen.

Andere Forscher nehmen zur Erklärung des Einflusses der Antenne die Leitfähigkeit des Bodens im ganzen oder einzelner geologischer Schichten desselben zu Hilfe, wieder andere denken an die Leitfähigkeit der höheren Schichten der Atmosphäre; die einen wie die anderen weisen also der Ausbreitung der Wellen durch den Raum nur eine untergeordnete Rolle zu. Nach der Überzeugung des Verfassers sind jedoch die erzielten Resultate, selbst wenn es bewiesen würde, dafs der Boden und die höheren Schichten der Atmosphäre an den Erscheinungen Anteil nehmen, jedenfalls in erster Linie der freien Ausbreitung von Wellen rings um die Antenne zuzuschreiben. Diese ist als ein Oszillator zu betrachten; die Wirkungen sind, wie bei jedem geradlinigen Oszillator, in der Symmetrieebene des Oszillators stärker als in irgend einer

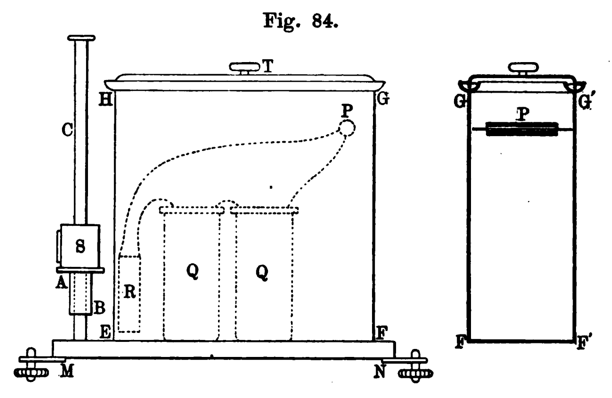
dazu geneigten Richtung, und ihre Intensität wächst mit der Länge des Leiters, in welchem die erzeugenden Schwingungen vor sich gehen.

Die Unsicherheit, welche den ersten tastenden Versuchen auf dem Gebiete der Telegraphie ohne Draht notwendigerweise anhaften mufste, hatte zur Folge, dafs betreffs dieser Versuche und der zu denselben benutzten Mittel die sonderbarsten Auffassungen in Umlauf kamen und dafs sogar die Vermutung auftauchen konnte, diese Versuche seien gar nicht mit Hilfe der bekannten Hertzschen Wellen, sondern mit einer neuen Art von Wellen ausgeführt worden. Zu Gunsten dieser absurden Vermutung wurde namentlich die Tatsache ins Feld geführt, dafs die Übertragung selbst dann nicht ausblieb, wenn die beiden Stationen durch eine Reihe von Gebäuden oder durch einen Hügel voneinander getrennt waren. Hierbei wurde jedoch übersehen, dafs sogar für das Licht das Gesetz der geradlinigen Ausbreitung nur annäherungsweise richtig ist; studiert man die Erscheinungen, welche man an sehr kleinen Lichtquellen oder sehr kleinen undurchsichtigen Schirmen beobachten kann, etwas näher, so überzeugt man sich leicht, dafs das Licht gewissermafsen um Hindernisse umbiegt. Hierin bestehen die Erscheinungen, welche man als Beugung des Lichtes bezeichnet. Dafs man dieselben nur mit sehr kleinen Gegenständen erhalten kann, liegt an der geringen Länge der Lichtwellen, die nur einige Zehntausendstel Millimeter beträgt. Bei den Schallwellen wird es bereits schwerer, die geradlinige Ausbreitung nachzuweisen als die Beugung; und hier handelt es sich um Wellen, deren Länge zwischen wenigen Millimetern und etwa 20 m liegt. Die in der drahtlosen Telegraphie auf grofse Entfernungen benutzten Wellen haben nun zweifellos eine viel gröfsere Länge; es kann daher durchaus nicht überraschen, dafs selbst eine bedeutende Bodenerhebung die Verbindung nicht immer abzuschneiden vermag. Aus demselben Grunde kann man auch keineswegs behaupten, wie es hier und da geschieht, dafs die Übertragung über eine gewisse Entfernung hinaus, z. B. der unlängst von Marconi angestellte Versuch einer Übertragung von Signalen über den Atlantischen Ozean, schon deshalb aussichtslos sei, weil infolge der Kugelgestalt der Erdoberfläche von einer der beiden Stationen aus die andere nicht sichtbar sei; im Gegenteil darf man wünschen und hoffen, dafs dem definitiven Gelingen dieser Versuche kein anderes Hindernis im Wege stehen möge als die Krümmung der

Erdoberfläche, und dafs es der drahtlosen Telegraphie gelingen möge, bald eine neue und sichere Verbindung zwischen den beiden Kontinenten herzustellen.

Viel verbreitet war auch eine andere irrige Ansicht. Man meinte, die elektromagnetischen Wellen seien selbst dann im stande, auf einen Körper einzuwirken, wenn dieser vollständig von einer dicken Metallschicht umgeben ist. So entstand die Befürchtung, die Wellen könnten durch Resonanz Funken erzeugen und auf solche Weise Schiefspulver oder Sprengmaterialien, die am Lande oder auf Schiffen selbst in vollständig geschlossenen Metallbehältern aufbewahrt oder von Panzerplatten ganz umgeben wären, zur Explosion bringen. Der Verfasser dieses Abschnittes hat jedoch mit Hilfe des in Fig. 84 dargestellten Apparates den Nachweis geliefert, dafs in einen Raum, der von einer kontinuierlich zusammen-

Fig. 84.



hängenden Hülle aus Stoffen, welche die Elektrizität sehr gut leiten, eingeschlossen ist, nicht die geringste Wirkung der elektromagnetischen Wellen eindringt[48]). Ein kupferner Kasten, der in *EFGH* von vorn und in *FGG'F'* von der Seite abgebildet ist, enthält eine galvanische Batterie *QQ*, die Spule *R* eines Galvanometers und einen sehr empfindlichen Radiokonduktor *P*, der mit der Batterie und der Spule einen Stromkreis bildet. Aufserhalb des Kastens befindet sich der mittlere Teil *BAC* eines Galvanometers, dessen Nadel abgelenkt wird, wenn durch die Spule *R* ein Strom fliefst. Die geringsten Ablenkungen der Nadel werden durch Reflexion des Bildes einer Skala an einem kleinen, in *S* untergebrachten und mit der Nadel des Galvanometers verbundenen Spiegel sichtbar. Der Kasten wird durch einen kupfernen Deckel *T* verschlossen, dessen Rand amalgamiert ist und in eine mit

Quecksilber gefüllte, um den oberen Rand des Kastens laufende Rinne paſst. Auf diese Weise ist zwischen den verschiedenen Teilen des Kastens ein ununterbrochener metallischer Zusammenhang hergestellt, und in der Tat zeigt es sich, daſs selbst ein kräftiger Oszillator, auch wenn er dem Kasten sehr nahe ist, auf den Radiokonduktor keine Einwirkung hervorzubringen vermag. Man braucht aber den Deckel nur ein klein wenig zu öffnen, oder auch lediglich das Quecksilber aus der Rinne wegzunehmen, wodurch zwischen dem Deckel und dem Kasten nicht mehr allenthalben eine vollkommene Verbindung besteht, so wirkt schon der erste Funke des Oszillators auf den Radiokonduktor; derselbe wird leitend, und die Nadel des Galvanometers zeigt einen starken Ausschlag.

Man könnte geneigt sein, das Ergebnis dieses Versuches dahin aufzufassen, daſs die Wellen durch enge Spalten hindurchgehen; in der Tat wurde die Erscheinung in dieser Weise von einigen Physikern beschrieben, welche die Wirkung einer zwischen dem Oszillator und dem Wellenindikator aufgestellten metallischen Wand, in der sich Öffnungen befanden, zum Gegenstand ihrer Studien gemacht hatten. Nach der Ansicht des Verfassers vollzieht sich der Vorgang jedoch auf andere Weise. Elektrische Schwingungen werden durch die Wellen in jedem Leiter hervorgerufen. Bildet dieser eine vollständig geschlossene Hülle, so ist die Wirkung, welche diese Schwingungen an einer innerhalb der Hülle befindlichen Stelle hervorbringen, genau so stark, daſs sie die unmittelbar von den Wellen an der betreffenden Stelle hervorgebrachte Wirkung aufhebt; stehen dagegen die verschiedenen Teile der Hülle nicht allenthalben miteinander in Zusammenhang, so bilden sich in diesen Teilen gesonderte Schwingungen aus, deren Wirkung sich nicht mehr mit derjenigen der direkten Wellen auszugleichen vermag.

Zur Vervollständigung dessen, was wir im vorstehenden betreffs der Anwendungen der elektromagnetischen Wellen gesagt haben, müssen wir nunmehr noch einen Blick auf die Abänderungen werfen, die neuerdings von verschiedener Seite an den Übertragungs- und Empfangsapparaten vorgenommen worden sind, um einen empfindlichen Mangel, der diesem Verfahren der Nachrichtenübermittelung anhaftet, zu beseitigen oder wenigstens zu vermindern. Die Übertragung der elektromagnetischen Wellen in die Ferne läſst sich am besten mit der akustischen Signalgebung

vergleichen. Ein intensives Tonsignal, wie es an den Küsten bei Nebel zur Verwendung kommt, wird von jedem vernommen, dessen Gehörorgan intakt und der nicht zu weit von der Schallquelle entfernt ist; ebenso vermag jeder, der über eine Antenne und einen Wellenindikator verfügt, die vermittelst elektromagnetischer Wellen ausgegebenen Signale, wenn er nur nicht zu weit vom Ursprung derselben entfernt ist, aufzufangen und zu verstehen. Auf den ersten Blick erscheint es also unmöglich, die Nachrichten geheim zu halten; und wenn dies auch in gewissen Fällen nicht von grofser Wichtigkeit sein mag, so kann es doch in anderen Fällen einen schweren Übelstand bedeuten. Zur Zeit der ersten Versuche mochten die Praktiker glauben, die Antenne sei ein richtiger Resonator, und zum Empfang der Signale sei daher eine Antenne von bestimmter Länge erforderlich. Es zeigte sich jedoch, dafs dies nicht zutrifft und dafs vielmehr jede improvisierte Station mit beinahe unfehlbarer Sicherheit sämtliche Mitteilungen, die eine Sendestation irgendwohin bestimmt hat, ebenfalls in Empfang zu nehmen vermag.

Damit Resonanz zu stande kommt, ist bekanntlich durchaus keine strenge Syntonie, d. h. keine genaue Übereinstimmung zwischen den Schwingungszeiten der korrespondierenden Apparate notwendig; es wurde bereits erwähnt, dafs die Schwingungszahl eines Resonators, der noch auf einen bestimmten Oszillator anzusprechen vermag, um so weiter von der Schwingungszahl dieses letzteren abweichen darf, je stärker die Schwingungen dieses letzteren gedämpft sind. Gerade der Oszillator mit Antenne, der den Vorteil einer gröfseren Tragweite bietet, ist dafür aber auch mit einer um so stärkeren Dämpfung behaftet.

Anderseits scheint es auf Grund zahlreicher Tatsachen, dafs ein Radiokonduktor beeinflufst wird, auch wenn in dem Stromkreise, welchem er angehört, keine wirklichen Schwingungen auftreten. Wer einmal eines der überaus leichten Experimente gemacht hat, welche sich mit diesem nützlichen Instrumente anstellen lassen, der mufs bemerkt haben, dafs das Verhalten desselben von der Gestalt und der Gröfse des Stromkreises, welchem dasselbe angehört, kaum irgendwie abzuhängen scheint. Man mufs also annehmen, dafs der Radiokonduktor schon beim ersten Eintreffen einer elektromagnetischen Störung, unabhängig von dem periodischen Charakter, den dieselbe besitzen kann, elektrische Leitfähigkeit erwirbt. Trotzdem ist damit die Hoffnung nicht vollständig

ausgeschlossen, dafs es gelingen könne, die Apparate so einzurichten, dafs sie nur auf solche Wellen ansprechen, deren Periode innerhalb gewisser Grenzen eingeschlossen ist.

Die Anstrengungen der Erfinder richteten sich deshalb auf die Herstellung der Syntonie, durch welche es erreicht werden soll, dafs Nachrichten, die von einer Station ausgegeben werden, nur von einer bestimmten Station empfangen werden können, deren Aufnahmeapparate hinsichtlich der Schwingungsdauer mit denjenigen der Sendestation übereinstimmen. Würde dieses ideale Ziel wirklich erreicht, so müfste jemand, der nicht für ihn bestimmte Signale auffangen wollte, die Schwingungsperiode der Antenne seines Empfangsapparates durch Probieren so lange abändern, bis Syntonie mit dem Sendeapparat vorhanden ist. Wie weit Marconi und andere Erfinder diesem Ziele nahe gekommen sind, wird der Leser im dritten Teile dieses Buches erfahren. Für jetzt begnügen wir uns mit einer kurzen Darstellung der wissenschaftlichen Prinzipien, auf welchen die Veränderungen beruhen, die an den ursprünglichen Sende- und Empfangsapparaten angebracht wurden, um zu der erstrebten Syntonie zu gelangen.

Nach dem, was wiederholt an anderer Stelle gesagt worden, erscheint es vorteilhaft, die geradlinige Gestalt der Antenne aufzugeben und ihre Selbstinduktion zu erhöhen. Von dieser Auffassung ausgehend, hat Lodge Oszillatoren hergestellt, die aus zwei Metallplatten bestehen, zwischen welchen sich ein durch die Funkenstrecke unterbrochener Draht befindet; ein Stück dieses Drahtes ist in mehreren Schraubenwindungen geführt. Auf diesen Oszillator sprach ein Resonator von derselben Gestalt kräftig an, während ein anderer, dessen Gröfse oder Windungszahl von derjenigen des Oszillators erheblich verschieden war, unbeeinflufst blieb. Eine wenigstens angenäherte Syntonie war also notwendig; dafür aber war auch die Tragweite der Apparate eine sehr geringe, und die gröfste Entfernung, bis zu welcher der Resonator noch der Wirkung der Wellen unterlag, blieb weit zurück hinter der mit geradlinigen Oszillatoren und Resonatoren erreichbaren Grenze.

Ähnliches hat man nun auch bei den speziell für telegraphische Zwecke bestimmten Apparaten versucht, indem man jede der beiden Antennen unten durch einen zur Schraube gewundenen Draht verlängerte; schliefst man in den Oszillator eine mehr oder minder grofse Anzahl dieser Windungen ein, so wird dadurch die Schwingungsdauer innerhalb gewisser Grenzen verändert.

Ferner hat man den Funken in dem Oszillator selbst beseitigt und die Schwingungen in dem letzteren durch Induktion erregt. In diesem Falle steht die Antenne unten mit einem Ende der Drahtspule in Verbindung, und ein Punkt dieser letzteren, den man, um die Schwingungsperiode zu verändern, verschieden wählen kann, wird mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt. Eine zweite Spule, welche die erste teilweise umgibt oder von ihr umgeben ist, bildet mit der ersten eine Art von Transformator ohne Eisenkern und wird von der oszillatorischen Entladung des Oszillators durchflossen. Der Oszillator umfafst in der Regel aufserdem noch einen Kondensator, durch den die Schwingungsdauer sehr erhöht wird. Entsprechende Veränderungen hat der Empfangsapparat erfahren; auch hier läfst man die Antenne durch Induktion auf den Stromkreis des Radiokonduktors einwirken. Endlich hat man in die Verbindungsdrähte an verschiedenen Stellen Drahtspulen eingefügt, die durch ihre Selbstinduktion das Eindringen der Wellen in Teile des Apparates, in welchen sie Störungen hervorrufen könnten, verhindern sollen.

Die wissenschaftlichen Grundlagen, auf welche sich diese verschiedenen Anordnungen aufbauen, sind, wie man sieht, ungemein einfach. Betreffs der Einzelheiten der Ausführung und der gewonnenen Resultate verweisen wir den Leser auf den dritten Teil des Buches.

35. Die Optik der elektrischen Schwingungen.

Durch die Hertzschen Versuche, über die wir in § 30 berichteten, haben die wichtigsten Folgerungen, zu welchen die moderne Theorie des Elektromagnetismus führt, ihre volle Bestätigung gefunden, und dank denselben hat daher auch die Auffassung, wonach die Erscheinungen der Licht- und Wärmestrahlen von der gleichen Natur sind wie die elektrischen Erscheinungen, eine immer gröfsere Wahrscheinlichkeit erlangt. Welche Tragweite dieser grofsartigen Synthese in philosophischer Beziehung zukommt, leuchtet ohne weiteres ein; und das vorliegende Kapitel würde daher eine empfindliche Lücke aufweisen, wenn wir nicht zum Schlusse desselben einen kurzen Überblick über die neueren Untersuchungen geben wollten, welche die Analogie, oder besser gesagt die Identität der beiden anscheinend so verschiedenartigen Gebiete in volles Licht setzen. Der Leser, der nähere Informationen über diesen Gegenstand wünscht, findet dieselben in einem vom

Verfasser dieses Teiles herausgegebenen Buche, welches den gleichen Titel wie der vorliegende Paragraph [49]) trägt.

Nach einer hauptsächlich durch Fresnel begründeten Hypothese, die bei den meisten Forschern Annahme gefunden hatte, ist die letzte Ursache der Erscheinungen der Wärme und des Lichtes in Schwingungen der kleinsten Teilchen der Körper und des dieselben umhüllenden universellen Äthers zu suchen. Ähnlich wie die Schwingungen eines musikalischen Instrumentes in der umgebenden Luft Schallwellen hervorbringen, so sollen nach jener Hypothese auch die Licht- und Wärmeschwingungen in dem Äther Wellen erzeugen. Aber auch abgesehen von dem ungeheuren Unterschied, der hinsichtlich der Schwingungsdauer und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit zwischen den Lichtschwingungen im Äther und den Schallschwingungen in der Luft besteht, mufs man, um von den Erscheinungen des polarisierten Lichtes Rechenschaft geben zu können, zwischen beiden Arten von Vorgängen noch eine weitere Verschiedenheit annehmen. Die Wellen, die sich in der Luft ausbreiten, sind longitudinal, d. h. die einzelnen schwingenden Teilchen vollführen ihre Bewegungen in derselben Richtung, in der auch der Zustand als solcher von Teilchen zu Teilchen fortschreitet; dagegen sind die Lichtwellen transversal, d. h. die Schwingungen gehen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Lichtes vor sich. Besser als mit den Schallwellen in der Luft lassen sich die Lichtwellen daher mit den Wellen vergleichen, die sich längs eines gespannten Seiles fortpflanzen, wenn man dasselbe in transversale Schwingungen versetzt. Die einzelnen Teilchen des Seiles schwingen nämlich senkrecht zur Länge desselben; und wenn ihre Bewegung aufserdem noch derart vor sich geht, dafs das Seil dabei in einer und derselben Ebene verbleibt, so erhält man ein Bild dessen, was man einen polarisierten Lichtstrahl nennt. In der Tat lassen sich die Erscheinungen der Polarisation durch die Annahme erklären, dafs die Schwingungen des Äthers längs eines Lichtstrahls sämtlich in einer und derselben Ebene stattfinden, die man als Schwingungsebene bezeichnet, während man die Ebene, welche den Strahl enthält und dabei zu der vorigen senkrecht ist, Polarisationsebene des Strahles nennt. Bei dem gewöhnlichen nicht polarisierten Lichte sind die Schwingungen zwar ebenfalls transversal, aber sie finden nicht immer in einer und derselben Ebene, sondern regellos in verschiedenen Ebenen statt. So erklärt es sich, dafs ein Strahl gewöhnlichen

Lichtes rings um seine Richtung symmetrische Eigenschaften besitzt, während ein polarisierter Strahl in verschiedenen durch ihn gehenden Ebenen nicht das gleiche Verhalten zeigt.

Nach der elektromagnetischen Theorie des Lichtes sind es nun elektrische Schwingungen, welche das Licht hervorrufen, und demgemäfs sind die im Äther sich ausbreitenden Wellen elektromagnetische Wellen nach Art derjenigen, die von einem Oszillator ausgesandt werden; der einzige wesentliche Unterschied zwischen den Wellen, die man als Lichtwellen bezeichnet, und denjenigen, deren Hervorbringung uns Hertz gelehrt hat, besteht in der Verschiedenheit der Schwingungsdauer, die bei den ersteren ungleich kleiner ist als bei den letzteren. Ein Hertzscher Oszillator brauchte aber nur von einer Gröfse zu sein, die mit derjenigen vergleichbar wäre, die wir den Atomen zuschreiben, so würden die von demselben ausgesandten Wellen im stande sein, in unserem Sehorgan die Empfindung des Lichtes hervorzurufen.

Nehmen wir nun an, die Lichtschwingungen seien elektrische Schwingungen, so ergibt sich, dafs die Lichtwellen nicht die Elastizität des Äthers wachrufen, sondern die elektrischen und magnetischen Kräfte, welche in demselben auftreten können. Auf Grund von Versuchen, insbesondere über die Zurückwerfung, kann man sagen, dafs man von der Fresnelschen zur elektromagnetischen Theorie durch die einfache Annahme gelangt, der Richtung der Schwingungen entspreche die Richtung der elektrischen Kraft. Bei polarisierten Wellen — und zu diesen gehören ihrer Entstehung nach die von einem geradlinigen Oszillator erzeugten — ist deshalb die Polarisationsebene diejenige, welche senkrecht steht zu der Richtung der elektrischen Kraft längs der Geraden, nach der die Fortpflanzung der Wellen stattfindet.

Man braucht übrigens keineswegs anzunehmen, die Atome seien gewissermafsen kleine Oszillatoren, und die Schwingungen, welche das Licht erzeugen, seien oszillatorische Entladungen, die in jenen Oszillatoren vor sich gehen. Mit Hilfe von Rechnungen [50]), die hier keine Stelle finden können, läfst sich nämlich beweisen, dafs die von einem geradlinigen Oszillator ausgehenden elektromagnetischen Wellen in einer im Vergleich mit den Dimensionen des Oszillators grofsen Entfernung von ihrem Ursprung sich in jeder Hinsicht ebenso verhalten wie diejenigen, die von einer längs der Achse des Oszillators nach dem Pendelgesetz hin und her schwingenden elektrischen Ladung erzeugt würden. Wäre es also

möglich, einen kleinen geladenen Leiter in so rasche Schwingungen zu versetzen, wie sie der oszillatorischen Entladung eines gewöhnlichen Oszillators entsprechen, so würde man elektromagnetische Wellen bekommen, deren Eigenschaften, wenn man sie in nicht zu geringer Entfernung von ihrer Ursprungsstelle betrachtet, sich in keiner Beziehung von denjenigen der gewöhnlichen Hertzschen Wellen unterscheiden würden. Man darf also annehmen, die Lichtwellen seien elektromagnetische Wellen, die durch Schwingungen der Elektronen hervorgebracht werden (s. § 24).

All dies wäre jedoch kaum von Interesse, wenn es dem Versuch gelänge, zwischen den elektromagnetischen und den Lichtwellen die eine oder andere wesentliche Verschiedenheit aufzudecken mit Ausnahme derjenigen, die sich aus der Verschiedenheit der Schwingungszahlen ergeben. Daher die Wichtigkeit der Versuche, von welchen wir hier eine kurze Beschreibung geben wollen und welche die vollständige Analogie beider Klassen von Erscheinungen in volles Licht gesetzt haben. Dieselben bestehen der Hauptsache nach in einer getreuen Nachahmung der wichtigsten Erscheinungen der Optik vermittelst Hertzscher Wellen. Der in den Abbildungen 67, 68, 69 und 70 dargestellte Oszillator eignet sich besonders gut für diese Versuche; er wurde in der Tat, ebenso wie die Resonatoren, deren Herstellung aus Fig. 74 ersichtlich ist, speziell für dieselben konstruiert. Am passendsten sind die Apparate von mittlerer Gröſse, welche etwa 10 cm lange Wellen erzeugen. Apparate von gröſseren Dimensionen würden zu umfangreiche Hilfsvorrichtungen beanspruchen; die kleineren Apparate dagegen sind zu wenig empfindlich.

Wir gehen nunmehr zur Beschreibung der wichtigsten Erscheinungen über, welche mit Hilfe der elektromagnetischen Wellen von ungefähr 10 cm Länge hervorgebracht wurden.

a) Interferenz. Abgesehen von dem bereits durch Hertz ausgeführten Versuch mit den stationären Wellen (§ 30) lassen sich mit den elektromagnetischen Wellen die klassischen Versuche Fresnels nachahmen, nämlich die Interferenz mit den beiden Spiegeln, mit dem Doppelprisma, die Interferenz durch dünne Platten u. s. w. Ein besonderes Interesse bietet der als Interferenzversuch mit einem einzigen Spiegel bezeichnete. AB (Fig. 85) stellt eine ebene Kupferplatte dar, O einen zu derselben parallelen geradlinigen Oszillator. Der Resonator, der in R, in geringer

Entfernung von AB, parallel zum Oszillator aufgestellt ist, unterliegt gleichzeitig der direkten Einwirkung des Oszillators und der Einwirkung der zurückgeworfenen Wellen, die sich so verhalten, wie wenn sie von einem zweiten Oszillator O' ausgingen, der das optische Bild von O ist und sich in entgegengesetzter Schwingungsphase wie dieser befindet. In unmittelbarer Nähe der Ebene AB findet daher Interferenz statt und der Resonator wird nicht erregt. Ist dagegen der Oszillator O (Fig. 86) senkrecht zur reflektierenden Wand aufgestellt, so stimmen die Phasen überein und die Wirkungen summieren sich; der in R, nahe zu AB befindliche Resonator zeigt deshalb lebhafte Funken.

Fig. 85.

Fig. 86.

Das Ergebnis dieses Versuches ist demjenigen des Fresnelschen ähnlich; aufserdem zeigt derselbe, dafs für die drahtlose Telegraphie wegen der Reflexion an der Erdoberfläche vertikale Antennen den horizontalen vorzuziehen sind.

b) Beugung. Die optischen Versuche über die Beugung, die, wie bereits gesagt worden, nur bei Anwendung überaus kleiner Schirme oder überaus enger Öffnungen gelingen, lassen sich in allen ihren charakteristischen Einzelheiten mit Hilfe der elektromagnetischen Wellen nachahmen. Benutzt man z. B. zu dem optischen Versuch eine kleine Lichtquelle und einen Schirm, in dem sich ein enger Spalt oder ein kleines Loch befindet, so kann der Fall eintreten, dafs auf der Verlängerung der Geraden, welche die Lichtquelle mit der Öffnung in dem Schirm verbindet, an einer Stelle vollständige Dunkelheit herrscht, was offenbar nicht möglich wäre, wenn das Gesetz der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes in aller Strenge erfüllt wäre. Ein ganz ähnliches Resultat wird erzielt, wenn man vor einem Oszillator eine Metallwand mit einem Spalt aufstellt: vor der Wand zeigt ein Resonator gerade an der Stelle keine Wirkung, an welcher man a priori die stärksten Funken vermutet hätte. Vergröfsert oder verkleinert man bei dem optischen Versuch nach und nach den Durchmesser der Öffnung oder die Breite des Spaltes, so erscheint an dem betrachteten Punkte, wo vorher Dunkelheit geherrscht hatte, zuerst Licht, dann wieder Dunkelheit und so fort. Ebenso zeigt bei dem elektromagnetischen Versuch, wenn man die Breite des Spaltes

successive vergröfsert, der Resonator abwechselnd Maxima und Minima der Wirkung an.

c) Zurückwerfung. Wie schon Hertz bewiesen hat, unterliegen die elektromagnetischen Wellen der Zurückwerfung und Brechung in derselben Weise und nach denselben geometrischen Gesetzen wie die Lichtwellen; und die vollkommenste Analogie zwischen beiden Gattungen von Erscheinungen gibt sich auch dann noch kund, wenn man dieselben in ihren physikalischen anstatt in ihren geometrischen Einzelheiten betrachtet.

Wenn ein Strahl polarisierten Lichtes AB (Fig. 87) an einem durchsichtigen Körper ST zurückgeworfen wird, so ist die Intensität des reflektierten Strahles je nach der Art der Polarisation des Lichtes verschieden. Steht die Polarisationsebene z. B. senkrecht auf der Einfallsebene ABC, d. i. der von dem einfallenden und dem reflektierten Strahl gebildeten Ebene, oder mit anderen Worten, finden die Schwingungen des Lichtstrahles in der Einfallsebene statt, so nimmt mit wachsendem Einfallswinkel i die Intensität des reflektierten Strahles BC immer mehr ab, bis schliefslich bei einem gewissen Einfallswinkel, den man als Polarisationswinkel bezeichnet, der reflektierte Strahl gänzlich erlöscht; man hat dann die sonderbare Erscheinung, dafs ein Lichtstrahl auf einen reflektierenden Körper fällt und dennoch nicht zurückgeworfen wird.

Fig. 87.

Das gleiche Ergebnis erhält man nun auch mit den elektromagnetischen Wellen. Liegt die geometrische Achse des Oszillators in der Einfallsebene, so findet bei einem gewissen Einfallswinkel überhaupt keine Reflexion statt. Auf einen derartigen Versuch gründet sich die Annahme, dafs der Fresnelschen Schwingung die elektrische Kraft in der Welle entspreche. A priori hätte man ja auch annehmen können, der Fresnelschen Schwingung entspreche nicht die Richtung der elektrischen, sondern diejenige der magnetischen Kraft; indessen zeigt es sich jetzt, dafs diese Annahme nicht mit den Tatsachen übereinstimmt.

Für den Polarisationswinkel wird bei dem elektromagnetischen Versuch im allgemeinen ein gröfserer Betrag gefunden, als bei dem entsprechenden optischen Versuch mit demselben reflektierenden Körper; diese numerische Abweichung beeinträchtigt jedoch in keiner Weise die Analogie zwischen beiden Klassen von Erschei-

nungen, vielmehr war die Verschiedenheit der beiden Polarisationswinkel vorauszusehen.

In der Tat ist ja der Polarisationswinkel auch für die verschiedenfarbigen einfachen Strahlen, aus welchen sich das weiſse Licht zusammensetzt, nicht der gleiche. In physikalischer Beziehung unterscheiden sich aber die verschiedenen Strahlen des Spektrums lediglich durch ihre Schwingungsdauer voneinander, und man kann sagen, daſs zwischen den roten und den grünen Strahlen des Spektrums genau derselbe Unterschied besteht, wie zwischen zwei Tönen von verschiedener Höhe. Wie nun der Polarisationswinkel bei den verschiedenen einfachen Strahlen des leuchtenden Spektrums verschieden groſs ist, so erscheint es nur natürlich, daſs derselbe auch bei den Strahlen elektrischer Kraft — um die von Hertz gewählte Bezeichnung zu gebrauchen — wenn sich dieselben wirklich nur durch ihre Schwingungsdauer von den Lichtstrahlen unterscheiden, eine andere Gröſse besitzt als bei diesen letzteren.

Bei dem vorhin kurz beschriebenen Versuch kommen nun Schwingungen zur Verwendung, deren Periode von derjenigen der Lichtstrahlen in der Tat auſserordentlich verschieden ist. Für eine Wellenlänge von 106 mm beträgt die Schwingungszahl etwa drei Milliarden in der Sekunde, das ist eine neunstellige Zahl, wogegen die den Strahlen des sichtbaren Spektrums entsprechenden Schwingungszahlen pro Sekunde durch vierzehnstellige Ziffern ausgedrückt werden.

d) Brechung und totale Reflexion. Die vollkommene Übereinstimmung zwischen dem Verhalten der Lichtwellen und der Hertzschen Wellen tritt auch bei der Brechung und bei der als totale Reflexion bezeichneten Erscheinung zu Tage. Bei dieser letzteren Erscheinung müssen wir etwas länger verweilen.

Wir wollen uns vorstellen, ein Lichtstrahl pflanze sich innerhalb einer ruhigen Wassermasse fort und erreiche die Oberfläche derselben in schräger Richtung. Solange die Richtung des Strahles keine allzu schräge ist, tritt derselbe aus dem Wasser in die darüber befindliche Luft über, wobei er eine Brechung erleidet und eine der horizontalen nähere Richtung einschlägt. Ist aber die Richtung des Strahles schon innerhalb des Wassers sehr nahe der horizontalen, so vermag er, wenn er an der Oberfläche des Wassers anlangt, dasselbe überhaupt nicht mehr zu verlassen und wird vollständig in das Wasser zurückgeworfen. Mit dieser Er-

scheinung der totalen Reflexion verbinden sich gewisse, seit langer Zeit bekannte und in allen ihren Einzelheiten erforschte Veränderungen des Charakters der Lichtschwingungen. Ist z. B. der einfallende Strahl polarisiert, so kann es geschehen, dafs die Schwingungen des reflektierten Strahles nicht mehr geradlinige sind, sondern auf kreisförmigen oder elliptischen Bahnen vor sich gehen; der Strahl hat dann kreisförmige oder elliptische Polarisation angenommen. Von derartigen Schwingungen erhält man eine Vorstellung durch Beobachtung eines Pendels, das aus einem biegsamen Faden besteht, der ein Gewicht trägt. Ein derartiges Pendel vermag nicht allein vollständig oder nahezu geradlinige Schwingungen auszuführen, sondern dasselbe kann auch, wenn es in geeigneter Weise in Bewegung versetzt wird, Kreise oder Ellipsen beschreiben.

Der Verfasser dieses Abschnittes hat nun nicht allein festgestellt, dafs bei den elektromagnetischen Wellen überhaupt eine totale Reflexion stattfindet, sondern er hat auch nachgewiesen, dafs die elektrischen Schwingungen sich in der geschilderten Weise verändern können, d. h. dafs man Strahlen elektrischer Kraft mit kreisförmigen oder elliptischen Schwingungen erhalten kann, wie sie keiner von den bekannten Oszillatoren unmittelbar erzeugt. Um derartige Strahlen direkt zu erhalten, müfste man z. B. eine konstante elektrische Ladung längs eines Kreises oder einer Ellipse mit solcher Geschwindigkeit sich bewegen lassen, dafs sie den Umfang der Kurve in jeder Sekunde beinahe drei Milliarden mal durchliefe.

c) Doppelbrechung. Seit langer Zeit ist die interessante Tatsache bekannt, dafs ein Lichtstrahl beim Eintritt in gewisse durchsichtige Stoffe sich in zwei Strahlen spaltet, die sich nach verschiedenen Richtungen fortpflanzen. Verwendet man zu dem Versuche natürliches Licht, so haben die beiden Strahlen gleiche Intensität; dagegen haben bei Anwendung von polarisiertem Licht die beiden gebrochenen Strahlen verschiedene Intensität, und es kann je nach der Orientierung der Schwingungen des einfallenden Strahles geschehen, dafs der eine oder der andere der beiden gebrochenen Strahlen gänzlich verschwindet. Die optischen Erscheinungen, zu welchen die Doppelbrechung Veranlassung gibt, sind ungemein interessant und äufsern sich oft in glänzenden Farben; ein dicker Band würde nicht genügen, um alles zu erschöpfen, was sich über dieselben sagen läfst.

Die doppelbrechenden Körper sind der Mehrzahl nach Krystalle; diejenigen organischen Ursprungs haben eine besondere Struktur, infolge deren sie nach verschiedenen Richtungen verschiedene Eigenschaften besitzen. Mit den elektromagnetischen Wellen hat man nun ebenfalls die wichtigsten Erscheinungen der Doppelbrechung erhalten, die in ihren Einzelheiten durchaus den entsprechenden optischen Erscheinungen glichen. Wohl wurden zwischen den beiden Erscheinungsgebieten quantitative Unterschiede festgestellt; aber wie bereits bei der Reflexion gesagt worden, sind diese Unterschiede eher geeignet, ein Argument für den vollkommenen Parallelismus beider Erscheinungsgebiete als eines gegen denselben abzugeben, da sie auf der Verschiedenheit der Schwingungszahlen beruhen. Zu diesen Untersuchungen, über die der Leser in dem erwähnten Werke Näheres findet, wurde hauptsächlich Selenit oder krystallisierter Gips verwendet, ein in grofsen Mengen vorkommendes Material, von welchem man auch leicht grofse Krystalle findet.

Die Verschiedenheit der Schwingungsperioden erklärt es anderseits, weshalb für eine Reihe optischer Erscheinungen die Parallelerscheinungen mit Hilfe elektromagnetischer Wellen nicht nachgewiesen werden konnten. So weit aber die experimentelle Prüfung überhaupt vorzudringen vermochte, hat sie niemals jene Identität des Verhaltens zwischen Lichtwellen und Hertzschen Wellen in Frage gestellt, in welcher die elektromagnetische Theorie des Lichtes ihre Bestätigung findet. A. Righi.

Literaturangaben.

1) A. Righi, Mem. della R. Acc. di Bologna, 5. ser., Bd. 2, S. 261 [1892].
2) H. Hertz, Wied. Ann. Bd. 34, S. 155 [1888].
3) Ders., Ebenda Bd. 34, S. 610; Bd. 36, S. 769 [1888].
4) Sarasin und De la Rive, Arch. de Genève Bd. 23, S. 113 [1890].
5) H. Hertz, Wied. Ann. Bd. 45, S. 553 [1892].
6) Lecher, Ebenda Bd. 41, S. 850 [1890].
7) L. Arons, Ebenda Bd. 45, S. 553 [1892].
8) A. Righi, Rendic. della R. Acc. di Bologna, 29. März 1898.
9) Ders., L'Ottica delle Oszillazioni elettriche, Bologna 1897, S. 13. — Die Optik der elektrischen Schwingungen, Leipzig 1898, S. 12.
10) R. Blondlot, Comptes rendus Bd. 114, S. 283 [1892].
11) O. Lodge, Nature Bd. 41, S. 462 [1890].
12) A. Righi, Die Optik u. s. w. S. 11.
13) Ders., Ebenda S. 12.

[14]) A. Righi, Die Optik u. s. w. S. 6.
[15]) Ders., Rendic. R. Acc. di Bologna, 29. März 1898.
[16]) P. Lebedew, Wied. Ann. Bd. 56, S. 1 [1895].
[17]) Pierce, Phil. Mag. Ser. 6, Bd. 1, S. 179 [1901].
[18]) Kiebitz, Drudes Ann. Bd. 5, S. 872 [1901].
[19]) A. Righi, Die Optik u. s. w. S. 16 ff.
[20]) Dragoumis, Nature Bd. 39, S. 548 [1889].
[21]) Ders., l. c.
[22]) Lucas und Garret, Phil. Mag. Ser. 5, Bd. 33, S. 299 [1892].
[23]) Dragoumis, Zeitschr. f. phys. und chem. Unterricht, 1895.
[24]) L. Boltzmann, Wied. Ann. Bd. 40, S. 399 [1890].
[25]) Birkeland, Ebenda Bd. 52, S. 486 [1894].
[26]) Turpain, Soc. des Sciences de Bordeaux, 1895 und 1897.
[27]) Zehnder, Wied. Ann. Bd. 47, S. 77 [1892].
[28]) Drude, Ebenda Bd. 52, S. 499; Bd. 53, S. 753 [1894].
[29]) A. Righi, Rendic. R. Acc. dei Lincei, 7. Nov. 1897.
[30]) Tuma, Zeitschr. f. Elektrot., 23. Jan. 1898.
[31]) A. Righi, Rendic. R. Acc. di Bologna, 29. Mai 1898.
[32]) Precht, Wied. Ann. Bd. 66, S. 1019 [1897].
[33]) Calzecchi-Onesti, Nuovo Cimento Bd. 16, S. 58 [1884]; Bd. 17, S. 38 [1885].
[34]) Neugschwender, Wied. Ann. Bd. 67, S. 430 und 842 [1899].
[35]) Ritter, Ebenda Bd. 45, S. 53 [1890].
[36]) Gregory, Phil. Mag. Ser. 5, Bd. 29, S. 54 [1890].
[37]) Klemenčič, Wied. Ann. Bd. 42, S. 417 [1891].
[38]) Pierce, Phil. Mag. Ser. 6, Bd. 1, S. 179 [1901].
[39]) Rutherford, Proc. Roy. Soc. Bd. 60, S. 184 [1897].
[40]) Blyth, Electrician Bd. 24, S. 442 [1890].
[41]) Bjerknes, Wied. Ann. Bd. 44, S. 74 [1891].
[42]) Aschkinafs, Nature Bd. 51, S. 228 [1895].
[43]) Minchin, Phil. Mag. Ser. 5, Bd. 31, S. 207 [1891].
[44]) O. Lodge, Ebenda Bd. 28, S. 48 [1899].
[45]) Fahie, History of Wireless Telegraphy, 1. Aufl. S. 73.
[46]) Turpain, Les Applications des Ondes électriques, Paris 1901, S. 133.
[47]) Lindemann, Drudes Ann. Bd. 2, S. 376 [1900].
[48]) A. Righi, Rendic. R. Acc. dei Lincei, 1. Aug. 1897.
[49]) Ders., Die Optik u. s. w. S. 75 ff.
[50]) Ders., Livre Jubilaire dédié à H. A. Lorentz, La Haye 1900, S. 348.

Drittes Kapitel.

Die Radiokonduktoren.

36. Der Leitungswiderstand unvollkommener Kontakte.

Von den zahlreichen Systemen von Wellenindikatoren, die im § 33 mehr oder minder eingehend geschildert wurden, haben sich bis jetzt, so grofse Vorzüge auch das eine oder andere von ihnen für wissenschaftliche Untersuchungen besitzen mag, für die praktischen Zwecke der drahtlosen Telegraphie die Radiokonduktoren am geeignetsten erwiesen. Wie wir bereits erfahren haben, bezeichnet man mit diesem Namen verschiedenartige Anordnungen von Leitern, die an einer oder an mehreren Stellen durch unvollkommene Kontakte oder durch dünne Schichten isolierender Substanzen unterbrochen sind. Der Widerstand, welchen eine derartige Anordnung dem Durchgange eines Stromes entgegensetzt, erleidet, wenn dieselbe von elektrischen Wellen getroffen wird, eine mehr oder minder starke Änderung. In gewissen Fällen hat diese Änderung vorübergehenden Charakter und verschwindet von selbst, sobald die Einwirkung der Wellen aufhört, in anderen Fällen dagegen bleibt sie ohne merkliche Abnahme bestehen, solange nicht äufsere Einflüsse den ursprünglichen Zustand wieder herstellen. Schon an dieser Stelle sei bemerkt, dafs es trotz der zahlreichen Untersuchungen, die in den letzten Jahren dieser wissenschaftlich wie praktisch gleich interessanten Erscheinung gewidmet wurden, noch keineswegs gelungen ist, die Ursache derselben vollständig aufzuklären. Es kann dies nicht wundernehmen, wenn man bedenkt, wie vielgestaltig die Faktoren sind, von welchen — auch abgesehen von den Störungen, die durch elektrische Wellen hervorgerufen werden können — zumal bei einer in kleine Körner oder in ein feines Pulver zerteilten leitenden Substanz der Betrag der Leitfähigkeit abhängt.

Vor allem leuchtet ein, dafs der Leitungswiderstand zur Gröfse der Berührungsflächen zwischen den verschiedenen Metallteilchen, oder, was dasselbe besagt, zur Anzahl und zu den Dimensionen dieser Teilchen in Beziehung stehen mufs. Wir erwähnen mit Bezug hierauf die Untersuchungen von Calzecchi-Onesti [1]) über den Leitungswiderstand von Metallfeilicht, das sich zwischen zwei

Elektroden innerhalb einer Röhre aus isolierendem Material befand. Zunächst hatte er gefunden, dafs die Stärke des Stromes, welcher zwischen den beiden Elektroden durch das Feilicht hindurchging, mit der Menge dieses letzteren oder, wie man auch sagen kann, mit seiner relativen Dichte abnahm. Mit diesem Namen bezeichnet man passend das Verhältnis zwischen dem Gewichte des in der Röhre vorhandenen Feilichts und dem Gewichte einer zusammenhängenden Masse des gleichen Metalls, welche die Röhre vollständig ausfüllen würde. Nach Calzecchi-Onesti soll nun aber die Leitfähigkeit des Feilichts nicht allein mit der relativen Dichte abnehmen, sondern es soll auch, wenigstens bei manchen Metallen, eine Grenze dieser Dichte, eine Art von kritischer Dichte, bestehen, unterhalb deren das Feilicht den Strom überhaupt nicht mehr durchläfst. Dieses Ergebnis wird jedoch von Auerbach[2]) angefochten. Nach demselben gibt es überhaupt keine kritische Dichte; das Metallpulver oder Feilicht läfst den Strom durch, solange von einer Elektrode bis zur anderen eine ununterbrochene Reihe von Berührungsstellen vorhanden ist. Trotzdem ist die gegenteilige Beobachtung von Calzecchi-Onesti vielleicht nicht unerklärlich, denn auch Auerbach konstatierte, dafs der Widerstand des Feilichts zwar mit Abnahme der relativen Dichte des Metalls oder, was dasselbe besagt, mit Abnahme des Druckes, welcher die Feilspäne zusammenhält, kontinuierlich zunimmt, dafs aber immerhin von einem gewissen Punkte ab diese Zunahme bedeutend rascher erfolgt als vorher. Ähnlich hatte auch Bidwell[3]) gefunden, dafs der Widerstand an der Berührungsstelle zweier Kohlezylinder allerdings mit steigendem Druck abnahm, dafs aber die Widerstandsänderungen bei geringem Druck viel bedeutender waren als bei starkem Druck. Nach Auerbach vollzieht sich der Vorgang in zwei gesonderten Abschnitten; in jedem derselben sind die Widerstandsänderungen den Änderungen der Dichte proportional, aber der Proportionalitätsfaktor ist bei geringer Dichte ein anderer als bei hoher Dichte. Eine graphische Darstellung, die so einfach ist, dafs wir sie nicht einmal wiederzugeben brauchen, sondern sie der Einbildungskraft des Lesers überlassen können, wird dies verständlicher machen. Denken wir uns eine Linie konstruiert, deren einzelne Punkte als Abszissen die Werte der relativen Dichte und als Ordinaten die zugehörigen Werte des Leitungswiderstandes haben, so erhalten wir zwei geradlinige Strecken, die in der Nähe des Wertes der Dichte, den

Calzecchi-Onesti als den kritischen bezeichnet, durch eine krummlinige Strecke miteinander verbunden sind. Diese Gestalt der Linie läſst vermuten, daſs der Widerstand zwischen den Feilspänen und ebenso an jeder Berührungsstelle zweier Stücke eines und desselben Metalles durch zwei voneinander unabhängige Ursachen bedingt sein müsse. Messungen, welche A. Meyer[4]) an Stahlkugeln vornahm, die sich unter einem beliebig veränderlichen Drucke berührten, ergaben in der Tat, daſs der Widerstand an der Berührungsstelle zur Gröſse der Berührungsflächen in umgekehrtem Verhältnis stand, dabei aber auch in demselben Maſse sank, wie der Druck an jedem Punkte wuchs. Die Abhängigkeit des Widerstandes vom Drucke ist also eine ziemlich komplizierte Erscheinung, bei der vielleicht der Zustand des Dielektrikums zwischen den einander berührenden Leitern und die Oberflächenschichten dieser letzteren die wichtigste Rolle spielen.

Die Widerstandsänderungen, welche selbst die geringste Änderung des Druckes an der Berührungsstelle verschiedener Leiter begleiten, haben in dem Mikrotasimeter von Edison[5]), einem zur Messung sehr kleiner Längenänderungen bestimmten Instrumente, Verwendung gefunden. Die gleiche Erscheinung ist von Edison und später auch von Engelmann und Krebs[6]) zur Herstellung regulierbarer Widerstände aus Graphit oder Kohle benutzt worden. Auch das Mikrophon gründet sich bekanntlich auf die Änderungen, welche der Widerstand von Kohlekontakten unter der Einwirkung von Schallwellen vorübergehend erleidet.

Ähnlich wie eine Kompression wirkt auch eine Temperatursteigerung. Die von Beetz[7]) beobachtete Verringerung des Widerstandes von Metallfeilicht beim Erwärmen wird verständlich, wenn man in Betracht zieht, daſs zwar die Leitfähigkeit der einzelnen Metallteilchen mit steigender Temperatur abnimmt, daſs aber anderseits die Ausdehnung durch die Wärme die Teilchen einander nähert und den Übergang des Stromes von einem zum anderen erleichtert. Allerdings hatte Du Moncel[8]) beobachtet, daſs in manchen Fällen die Erwärmung zunächst eine Zunahme des Widerstandes bewirkt, der erst bei weiterer Erwärmung das normale Verhalten folgt; aber diese scheinbare Unregelmäſsigkeit rührt von einer Flüssigkeitsschicht her, welche die Metallteilchen miteinander verbunden hatte und nun beim ersten Erwärmen verschwindet.

Zum groſsen Teil hat jedoch der Berührungswiderstand,

wenigstens bei Metallen, seine Ursache ohne Zweifel in der Gasschicht, die an den einander berührenden Flächen haftet. Aus Versuchen von Vicentini[9]) geht dies deutlich hervor. Dieser brachte polierte Flächen von Kupfer oder Platin miteinander in Berührung, zum Teil ohne daſs sie auſser der Politur irgend welche Behandlung erfahren hatten, zum Teil nachdem sie nach erfolgter Politur einige Zeit in Luft oder anderen Gasen oder endlich im leeren Raume aufbewahrt worden waren. Frisch polierte Metalle zeigten an der Berührungsstelle fast keinen Widerstand; dieser tritt aber hervor und kann sogar einen hohen Betrag erreichen, wenn die Berührungsflächen mit einer Gasschicht überzogen sind; wird diese dann durch Evakuieren entfernt, so verschwindet auch der Widerstand wieder, falls die Metalle durch das Gas keine chemische Veränderung erfahren haben.

Manchmal treten jedoch Unregelmäſsigkeiten auf, deren Ursache schwer zu bestimmen ist. Nach Branly[10]) besitzen Säulen, die aus ebenen und sorgfältig polierten Platten eines und desselben Metalles aufgeschichtet sind, fast keinen Widerstand, wenn die Scheiben aus Kupfer, Messing oder Zink bestehen, während man mit Platten aus Blei, Aluminium, Wismut oder Eisen Widerstände beobachtet, die je nach der Natur des Metalls verschieden groſs sind und mit der Zeit etwas zunehmen. Noch gröſser sollen die Widerstände von Anfang an sein, wenn man die Platten, anstatt sie sachte übereinander zu schichten, plötzlich aufeinander fallen läſst. Von anderer Seite werden diese Angaben allerdings nicht bestätigt.

Mit Feilspänen bekam Dorn[11]) ähnliche Ergebnisse, wie sie Vicentini an polierten Metallflächen gefunden hatte. Späne von Platin, Silber und Nickel besaſsen stets einen kleinen Leitungswiderstand, der im leeren Raum noch geringer war als in der Luft; bei frischen Flächen von Kupfer und Zink war der Widerstand ebenfalls gering, doch stieg er bald und konnte nach einer gewissen Zeit einen hohen Betrag erreichen. Das hauptsächlichste Hindernis, welches der elektrische Strom beim Übergang zwischen oxydierbaren Metallen findet, liegt jedoch nach Dorn in der Schicht von Oxyden, Karbonaten u. s. w., von denen die Oberfläche dieser Metalle fast stets bedeckt ist. Aluminiumfeilicht z. B. zeigt einen hohen Widerstand, der selbst dann nicht verschwindet, wenn man dasselbe im leeren Raume erhitzt; in der Tat wird ja auch Aluminiumoxyd durch Wärme nicht verändert und leitet sogar noch

schlechter als das ursprünglich vorhandene Hydrat. Feilspäne aus Nickel, Eisen, Kupfer und Zink erlangten allerdings durch Erhitzen im Vakuum eine gröfsere Leitfähigkeit, obschon die Umwandlung der Hydrate dieser Metalle in die entsprechenden Oxyde die entgegengesetzte Wirkung hervorrufen sollte; vielleicht aber rührt das beobachtete Verhalten davon her, dafs das Volumen der Oxydschichten durch das Trocknen verkleinert und infolgedessen zwischen den Metallflächen eine nähere Berührung hergestellt wird.

Zu erwähnen wären schliefslich noch die Untersuchungen von Salvioni[12]) über die elektromotorischen Kräfte, die zum Übergang eines Stromes zwischen zwei durch einen kleinen, aber immerhin noch mefsbaren Abstand (0,06 bis 0,73 Tausendstel Millimeter) voneinander getrennten Platinkugeln erforderlich sind. Wir verzichten aber auf die Wiedergabe von Zahlen, weil es sich wahrscheinlich gar nicht um einen gewöhnlichen, d. h. kontinuierlichen Stromübergang handelte, sondern um einen komplizierteren Vorgang, auf den, wie wir später noch sehen werden, der Entladungsprozefs selbst einen Einflufs übte.

37. Veränderungen des Widertandes der Kontakte durch elektrische Einflüsse.

Sehen wir ab von einem alten Versuche Priestleys, bei welchem Metallteilchen durch elektrische Entladungen aneinander geschmolzen wurden, sowie von einem ähnlichen Vorgang, den Varley*) im Jahre 1870 vor der British Association beschrieb, so scheint Munck af Rosenschöld[13]) der erste gewesen zu sein, der einen Einflufs der elektrischen Entladungen oder des elektrischen Stromes auf die Leitfähigkeit von Metallpulvern beobachtet hat. Im Jahre 1838 fand derselbe, dafs die Leitfähigkeit von Pulvern aus gewissen, die Elektrizität leitenden Substanzen (Braunstein, Schwefelquecksilber, Holzkohle etc.), die zwischen einem Bleiplättchen und einem Eisendraht in einer Röhre aufgeschichtet waren, durch elektrische Entladungen im allgemeinen stark erhöht wurde. Ebenso verhielten sich geschmolzene und wieder erstarrte

*) Varley hatte beobachtet, dafs für den von ihm erfundenen Telegraphen-Blitzableiter nur Mischungen von Metallpulvern mit isolierenden Stoffen, nicht aber die ersteren für sich allein zu gebrauchen sind, weil reine Metallpulver, wenn einmal eine starke Entladung durch dieselben hindurchgegangen ist, auch für die gewöhnlichen Telegraphenströme leitend werden.

Mischungen von Schwefel und Schwefelquecksilber, sowie gekörnte Metalle, deren anfänglich sehr hoher Widerstand durch Entladungen bedeutend herabgesetzt wurde, aber infolge von mechanischen Erschütterungen der Röhre, welche die Körner enthielt, wieder auf den Anfangswert zurückkehrte. In ähnlicher Weise wurde die Leitfähigkeit der Pulver auch durch den Strom einer galvanischen Batterie beeinflufst.

Schon im Jahre 1838 war also, wie man sieht, die Tatsache einer Veränderung der Leitfähigkeit von Pulvern und metallischen Feilspänen durch elektrische Einwirkungen festgestellt und veröffentlicht worden; aber sie blieb unbeachtet, weil man sie mit dem sogenannten Übergangswiderstand in Beziehung brachte und deshalb nichts Merkwürdiges in ihr erblickte. Nicht glücklicher als Munck af Rosenschöld war später der Amerikaner Hughes. Erst in letzter Zeit hat man erfahren[14]), dafs dieser bereits im Jahre 1879 die Änderungen des Widerstandes von Mikrophonkontakten durch Entladung von Extraströmen oder Leydener Flaschen, sowie den permanenten Charakter dieser Änderungen bei Kontakten zwischen Metallen und die spontane Wiederkehr des Anfangszustandes bei den Kohlekontakten beobachtet hatte — lauter Tatsachen, die, wie wir sehen werden, später von anderen aufs neue entdeckt werden mufsten. Ferner war es ihm sogar gelungen, mit Hilfe der geschilderten Wirkung der Entladungen auf eine Entfernung von 400 m Signale zu übertragen. Schon damals hatte er vollkommen klar erkannt, dafs elektrische Wellen, die sich durch die Luft ausbreiten, die Ursache der von ihm beobachteten Erscheinungen seien; und nur die gegenteilige Auffassung hervorragender Fachgenossen, die seine Versuche mit angesehen hatten, sie aber als Wirkungen der gewöhnlichen elektromagnetischen Induktion erklären zu können glaubten, hielt Hughes damals von ihrer Veröffentlichung ab.

So blieb zwar nicht das Verdienst der ersten Entdeckung, aber doch dasjenige einer systematischen und unabhängig von seinen Vorgängern durchgeführten Untersuchung der erwähnten Erscheinung dem Italiener Calzecchi-Onesti[15]) vorbehalten, dessen Arbeiten in den Jahren 1884 und 1885 veröffentlicht wurden. Bei Gelegenheit seiner schon erwähnten Untersuchung über die Leitfähigkeit von Metallpulvern hatte der Genannte bemerkt, dafs die Unterbrechung des Stromkreises, welcher die galvanische Batterie und die Röhre mit dem Metallpulver enthielt, den Wider-

stand dieses letzteren herabsetzte. Wurde der Stromkreis wieder geschlossen, dann von neuem unterbrochen und diese Operation mehrmals wiederholt, so stieg die Leitfähigkeit mit der Anzahl der Wiederholungen; nach dem Aufhören dieser Operationen sank zwar die Leitfähigkeit nach und nach, blieb aber doch eine ziemlich lange Zeit hindurch, solange die Röhre keinen anderweitigen Einwirkungen ausgesetzt wurde, gröfser, als sie vor den Unterbrechungen gewesen war; dagegen hatte schon eine mäfsige Bewegung der Röhre, welche das Pulver oder Feilicht enthielt, die augenblickliche Zerstörung der vermehrten Leitfähigkeit zur Folge. Ebenso wie Unterbrechungen des Stromkreises, welcher die Batterie und die Röhre mit dem Feilicht enthielt, wirkten auch die Entladungen einer Holtzschen Influenzmaschine, die durch einen langen und dünnen Kupferdraht mit einer der Metallfassungen der Feilichtröhre verbunden war, oder auch schon die Influenz seitens eines elektrisierten Körpers. Bei den Versuchen mit Unterbrechung des Stromkreises zeigte es sich, dafs die Leitfähigkeit in stärkerem Verhältnis zunahm, wenn der Stromkreis eine Drahtspule enthielt. Calzecchi-Onesti kam deshalb auf die Vermutung, die ganze Wirkung rühre von dem sogenannten Extrastrom her, der bei Unterbrechung des Stromkreises durch Selbstinduktion entsteht. Um dies klarzustellen, änderte er den Versuch in der Weise ab, dafs der Stromkreis, der die Feilichtröhre enthielt, überhaupt nicht unterbrochen wurde; statt dessen wurde in diesen Stromkreis die sekundäre Spule eines Induktionsapparates eingeschaltet, dessen Primärspule mit einer galvanischen Batterie und einem von der Hand betriebenen Unterbrecher verbunden war. Der Erfolg blieb im wesentlichen der gleiche wie vorher und wurde deshalb in beiden Fällen auf Rechnung einer Induktionswirkung gesetzt. An diesem Punkte aber blieb Calzecchi-Onesti stehen; der Gedanke, noch einen Schritt weiter zu gehen und die beiden Stromkreise auch räumlich voneinander zu trennen, kam ihm nicht in den Sinn.

Umfangreicher als die Untersuchungen des Genannten sind die Arbeiten von Branly[16]), der sich seit dem Jahre 1890, zunächst ebenfalls ohne Kenntnis der vorausgegangenen Untersuchungen anderer Autoren, mit den Änderungen der Leitfähigkeit von metallischen Kontakten unter verschiedenen elektrischen Einflüssen beschäftigte. Branlys Untersuchungen betrafen sowohl Metallpulver oder Feilspäne, die auf Glas- oder Ebonitplatten ausgebreitet oder zwischen zwei Elektroden unter verschiedenen

Drucken in Ebonitröhren zusammengeprefst wurden, wie auch Mischungen von Feilspänen mit isolierenden Substanzen, z. B. mit Schwefelblumen, verschiedenen Harzen, Kolzaöl u. s. w., wobei die Bestandteile des Gemisches entweder durch Druck zusammengeprefst oder auch zusammengeschmolzen und nach dem Erkalten in Form von festen Platten oder Zylindern verwendet wurden; endlich erstreckten sich die Versuche auf das Verhalten einfacher Kontakte zwischen oxydierten Kupferstäben, sowie mehrfacher Berührungsstellen in Säulen oder Reihen, die aus metallenen Platten oder Kugeln aufgeschichtet wurden. Die elektrischen Einwirkungen wurden mit Hilfe von Elektrisiermaschinen hervorgebracht, mit denen Leiter von verschiedener Länge in Verbindung standen, die bis in die Nähe der zu untersuchenden Kontakte führten; oder man liefs in einer gewissen Entfernung von den Kontakten oder auch auf diese selbst elektrische Funken überspringen; bei anderen Versuchen wiederum wurden die zu untersuchenden Kontakte in den Stromkreis einer galvanischen Batterie von hoher elektromotorischer Kraft (dieselbe konnte bis auf ungefähr 100 Volt gebracht werden) eingeschaltet. Branly fafst die Ergebnisse seiner Arbeiten folgendermafsen zusammen.

Der Widerstand von Metallfeilicht oder von einfachen Berührungsstellen zwischen Metallflächen nimmt beim Durchgang eines Stromes von hoher elektromotorischer Kraft in starkem Mafse ab; bei einem einfachen Kontakt sank z. B. der Widerstand von 8000 bis auf 7 Ohm. Ähnliche Abnahmen, z. B. von mehreren Millionen bis auf einige hundert Ohm oder noch weniger, werden auch durch Funken bewirkt, welche auf die zu den empfindlichen Kontakten führenden Leiter oder auch nur zwischen zwei mehr oder minder weit davon entfernten Elektroden überspringen; und die Wirkung bleibt die gleiche, ob nun der empfindliche Kontakt, während er derselben ausgesetzt wird, in den Stromkreis seiner Batterie eingeschlossen oder vollständig isoliert ist. Die Fernwirkung der Funken wird auch nicht aufgehoben, wenn sich zwischen der Stelle, an welcher die Funken überspringen, und dem empfindlichen Kontakt oder der Röhre mit den Feilspänen eine nichtmetallische Wand befindet; sie verschwindet nur dann, wenn entweder der Apparat, von welchem die Wirkung ausgeht, oder derjenige, welcher sie empfangen soll, vollständig in eine metallische Hülle eingeschlossen ist; doch braucht nur von dem Apparat, welcher die Wirkung der Funken erleiden soll, ein kurzes Stück

Draht aus der Hülle herauszutreten, so erscheint trotz dieser letzteren die Wirkung von neuem. Selbst geringe mechanische Erschütterungen oder eine schwache Erwärmung haben die Rückkehr des ursprünglichen Widerstandes zur Folge. In einzelnen Fällen endlich rufen die elektrischen Einflüsse eine Zunahme anstatt einer Abnahme des Widerstandes hervor; dies ist z. B. der Fall bei Antimon- oder Aluminiumpulver, welches in einer Röhre zwischen Elektroden aufgeschichtet ist und keinen zu grofsen Widerstand besitzt, ferner bei Bleisuperoxyd und manchen platinierten Gläsern, während bei anderen Stücken des gleichen Materials der Widerstand abwechselnd steigt und fällt.

Die Ursache der geschilderten Vorgänge liegt nach Branly in einer Veränderung des Dielektrikums, welches sich zwischen den Oberflächen der Metalle befindet; in dem normalen Falle der Widerstandsabnahme soll das Dielektrikum unter der Einwirkung elektrischer Wellen oder infolge des Durchganges eines kontinuierlichen Stromes einen gewissen Grad von Leitfähigkeit erlangen, die auch nach dem Aufhören der Ursache noch einige Zeit anhalten soll; im Fall einer Widerstandszunahme soll die Ursache in einer entgegengesetzten Veränderung des Dielektrikums liegen. Weiter aber ist Branly, wenigstens in seinen ersten Veröffentlichungen, nicht gegangen; er untersucht weder, worin eigentlich jene Veränderung des Dielektrikums besteht, noch auch, durch welchen Vorgang die Funken in die Ferne zu wirken vermögen. Und doch hatte damals Hertz bereits gelehrt, auf welche Weise elektrische Wellen entstehen, und man war durch ihn mit den Eigenschaften und den Gesetzen der Ausbreitung dieser Wellen vertraut. Dafür bildeten diese letzteren die Grundlage der Arbeiten von Lodge[17]), der beinahe gleichzeitig mit Branly die verschiedenen Mittel studierte, durch welche sich die Gegenwart elektrischer Wellen nachweisen läfst, und dabei auf eine Erscheinung verfiel, die schon Jahre zuvor von Varley entdeckt worden war und die wir bereits kurz erwähnt haben. In ihrer einfachsten Gestalt besteht dieselbe darin, dafs zwei durch einen kleinen Zwischenraum voneinander getrennte Leiter nach dem Überschlagen von elektrischen Funken häufig wie aneinandergelötet erscheinen. Als unmittelbare Folge rufen die elektrischen Wellen in dem System der beiden Leiter elektrische Schwingungen wach; diese sind es, welche die kleine Unterbrechung zwischen den Leitern durch Funken überbrücken, die vorher getrennten Teile zu-

sammenschmelzen und zwischen denselben eine metallische Verbindung herstellen. Diese Erscheinung hatte Boltzmann[18]) bereits dazu benutzt, um die Entladung eines geladenen Elektroskops herbeizuführen. Lodge dagegen verwertete dieselbe in seinem „mikrophonischen Detektor“, um vermittelst der elektrischen Wellen den Stromkreis einer elektrischen Lampe oder einer elektrischen Klingel zu schliefsen. Dieser Apparat besteht aus einer Metallschraube mit abgerundetem und poliertem Ende, welches sich in kleinem Abstande oberhalb einer Metallplatte befindet, so dafs die Funken zwischen beiden eine Verbindung herstellen können. Dem gleichen Zwecke dient auch eine andere Vorrichtung, nämlich eine Spiralfeder aus Stahl, die durch Drehung um eine Achse einem Aluminiumplättchen mehr oder weniger nahe gebracht werden kann. Erst nach den Versuchen mit diesen Vorrichtungen erhielt Lodge Kenntnis von den Arbeiten Branlys, und da er sah, dafs sein Detektor mit einfachem Kontakt im Prinzip sich nicht von den vielfachen Kontakten Branlys unterschied, aber nicht so bequem zu gebrauchen und weniger empfindlich war als die Feilichtröhre, so ging er zu dieser über. Zu der Feilichtröhre, die ebenso wie ein einfacher empfindlicher Kontakt ihre durch elektrische Wellen geweckte Leitfähigkeit auch dann noch bewahrt, wenn die Einwirkung der Wellen wieder aufgehört hat, gehört dann noch eine Vorrichtung, welche diese Leitfähigkeit zerstört und den ursprünglichen Zustand wieder herstellt. Anfangs diente dazu ein elektrischer Hammer, der leichte Schläge gegen die Röhre vollführte und durch den Strom, welcher die leitend gewordene Röhre durchflofs, in Tätigkeit gesetzt wurde. Da jedoch die Unterbrechungsfunken des elektrischen Hammers auch ihrerseits die Leitfähigkeit des Feilichts beeinflussen konnten, so gab später Lodge einem durch ein mechanisches Uhrwerk betriebenen Hammer, welcher beständig in kurzen Intervallen der Röhre leichte Erschütterungen erteilte und dadurch nach jeder Einwirkung der Wellen den Anfangszustand alsbald wieder herstellte, den Vorzug vor der elektrischen Vorrichtung.

Unabhängig von Branly und Lodge hatte auch Minchin die Widerstandsänderungen unvollkommener Kontakte durch elektrische Einflüsse wahrgenommen. Von seinen Untersuchungen ist bereits in § 33 die Rede gewesen. Indessen ging Minchin zunächst über die Feststellung der Tatsache nicht hinaus; erst wesentlich später brachten ihn Branlys Veröffentlichungen auf

die Vermutung, die von ihm beobachtete Erscheinung sei die Folge einer Einwirkung elektrischer Wellen auf den Leitungswiderstand von Kontakten gewesen.

Zu erwähnen ist schliefslich noch, dafs Aschkinafs[19]), als er vermittelst eines aus Stanniolstreifen gebildeten Bolometers die Wärmewirkung der elektrischen Wellen studieren wollte, eine Abnahme des Leitungswiderstandes dieser Vorrichtung durch die elektrischen Wellen konstatierte; auch dieses Bolometer vermag also, wie wir bereits in § 33 erfahren haben, als Wellenindikator zu dienen. Die gleiche Beobachtung wie Aschkinafs machten Wilsing und Scheiner[20]) bei Gelegenheit einer ähnlichen Untersuchung; und man geht kaum fehl mit der Annahme, dafs eine Einwirkung elektrischer Wellen auf den Leitungswiderstand unvollkommener Kontakte auch noch anderen Forschern begegnet war, ohne dafs sie den eigentlichen Mechanismus der Erscheinung erkannt oder sich auch nur von dem Vorhandensein derselben Rechenschaft gegeben hatten.

38. Erklärungsversuche.

Die Tatsache einer Änderung des Leitungswiderstandes unvollkommener Kontakte durch elektrische Einflüsse war also festgestellt; aber die Frage nach der Ursache der Erscheinung harrte noch einer einwandfreien Beantwortung. Zunächst standen einander zwei Auffassungen gegenüber. Lodge betrachtet die durch elektrische Wellen hervorgerufene Leitfähigkeit als eine Wirkung kleiner Funken, die zwischen den benachbarten leitenden Teilchen überspringen und eine intimere Berührung zwischen denselben herbeiführen, indem sie die Schichten von Oxyden und anderen isolierenden Substanzen, welche die metallischen Oberflächen voneinander trennen, durchbrechen. Die Hitze des Funkens soll nach Lodge auch im stande sein, die einander berührenden Metallflächen direkt zusammenzuschmelzen, also einen festen Zusammenhang zwischen denselben herzustellen. Die von der elektrischen Strömung in den Oxydschichten wachgerufenen chemischen Prozesse tragen nach Lodge ebenfalls zu dem geschilderten Vorgang bei, und eine Unterstützung findet derselbe endlich in der elektrostatischen Anziehung zwischen benachbarten, mit entgegengesetzten Elektrizitäten geladenen Teilchen. Infolge der geringen Entfernung, welche die benachbarten Teilchen innerhalb einer Feilichtröhre oder eines Detektors mit einfachem Kontakt voneinander trennt,

kann nämlich nach einer Berechnung von Lodge die Kraft zwischen denselben auch bei mäfsigen Potentialdifferenzen beträchtliche Werte erreichen. Die durch mechanische Erschütterungen herbeigeführte Rückkehr zum ursprünglichen Widerstand ist nach Lodge eine Folge der Zerstörung der durch die angegebenen Vorgänge gebildeten Kontakte.

Gegen diese Erklärung des Einflusses elektrischer Wellen auf den Leitungswiderstand unvollkommener Kontakte macht Branly geltend, dafs dieselbe von dem Verhalten der Mischungen, die man durch Eintragen von Feilicht in geschmolzene Dielektrika erhält und die nach dem Erstarren „hart sind wie Marmor“ und dennoch der Einwirkung der elektrischen Wellen unterliegen, keine Rechenschaft zu geben vermag. Nach Branlys Ansicht gibt es nur zwei Möglichkeiten: entweder wird die isolierende Schicht, welche die Metallteilchen voneinander trennt, unter dem Einflusse eines Stromes von hoher elektromotorischer Kraft zu einem Leiter, oder man mufs annehmen, ein Strom vermöge überhaupt ein System von Leitern zu passieren, auch ohne dafs zwischen den Teilen des Systems eine unmittelbare Berührung vorhanden ist, und der Zwischenraum, der auf solche Weise von dem Strom überbrückt werden kann, werde durch vorhergegangene elektrische Einwirkungen vergröfsert. Diese letztere Annahme hält Branly jedoch für zu unwahrscheinlich, und er gibt deshalb der ersteren den Vorzug.

Auf Grund seiner Auffassung von der Ursache der Widerstandsänderungen unvollkommener Kontakte hatte Lodge diesen Vorrichtungen den Namen „coherer“ gegeben, und dieser Name ist, sei es in der ursprünglichen Form oder in der deutschen Schreibweise „Kohärer“, zu ziemlich allgemeiner Annahme gelangt. Daneben hat die von Slaby vorgeschlagene Verdeutschung „Fritter“ oder „Frittröhre“, die von der allzu speziellen Auffassung einer durch die Wellen herbeigeführten wirklichen Zusammenschmelzung oder Lötung der Teilchen ausgeht, nur in beschränktem Umfange Fufs zu fassen vermocht; und auch dem Namen „Radiokonduktor“, den Branly später für seine Feilichtröhren und alle ähnlichen Anordnungen vorschlug, erging es kaum besser, trotzdem derselbe den Vorzug besitzt, betreffs der Ursache des Einflusses der elektrischen Wellen auf den Leitungswiderstand unvollkommener Kontakte keinerlei besondere Annahme zu machen, sondern lediglich die Tatsache dieses Einflusses zum Ausdruck zu bringen.

Was nun die beiden im Vorstehenden skizzierten Theorieen anbelangt, so hat diejenige Branlys das Verdienst, dafs sie die vorübergehenden wie die dauernden Widerstandsänderungen, die Fälle einer Zunahme wie einer Abnahme des Widerstandes von einem einheitlichen Gesichtspunkte aus zu erfassen sucht; anderseits aber läfst sie sich mit gewissen, durch Beobachtung festgestellten Tatsachen nur schwer in Einklang bringen. So fand Lhuillier[23]), als er mit Alkohol übergossene Eisenfeilspäne der Einwirkung elektrischer Wellen aussetzte, dafs die von denselben erzeugte Leitfähigkeit nach dem Aufhören der Einwirkung selbst dann nicht verschwand, wenn der Alkohol entfernt und durch ein neues Quantum des gleichen Materials ersetzt wurde. Mit der Annahme einer Veränderung des Dielektrikums läfst sich diese Tatsache nicht gut vereinbaren. Ferner ist nach Dorn[24]) die Leitfähigkeit einer Feilichtröhre vor der Einwirkung elektrischer Wellen zwar gröfser, wenn die Röhre luftleer gepumpt wird, aber der durch elektrische Wellen erzeugte Betrag der Leitfähigkeit ist nahezu der gleiche, ob nun die Röhre Luft enthält oder nicht; endlich ist eine Veränderung eines Dielektrikums durch elektrische Wellen, wie Branlys Theorie dieselbe annimmt, noch in keinem Falle direkt konstatiert worden.

Allerdings ist auch die Theorie von Lodge in ihrer ursprünglichen Form nicht gut aufrecht zu erhalten gewesen, sie ist verschiedentlich abgeändert und ergänzt worden. Anstatt einer direkten Zusammenschmelzung der Metallteilchen stellt man sich vor, dafs die Verdampfung des Metalles durch die Hitze des Funkens und die Niederschlagung der Dämpfe auf den Wandungen der Kanäle, welche sich in dem von den Funken durchbohrten Dielektrikum gebildet haben, von einem Metallteilchen zum anderen leitende Brücken erzeugt. Ferner ist zu berücksichtigen, dafs in dem zwischen den Elektroden des Apparates bestehenden elektrischen Felde die Teilchen bestimmte Richtungen anzunehmen streben und sogar beschränkte Bewegungen ausführen können, um sich längs der Kraftlinien des Feldes in zusammenhängenden Fäden aneinander zu schliefsen.

Der bedeutende Einflufs, welchen der Oberflächenzustand der einander berührenden Metalle auf das Kohärerphänomen ausübt, ist nach der Theorie von Lodge leicht zu verstehen. Von Wichtigkeit ist in dieser Beziehung das Verhalten der edlen Metalle. Die Theorie von Lodge liefs vermuten, dafs dieselben zur Herstellung

von Kohärern nicht geeignet seien; und Branly[25]), dem es gelungen war, auch mit Feilspänen aus nicht oxydierbaren Metallen, wie Gold und Platin, Radiokonduktoren zu bereiten, hatte hierin in der Tat ein entscheidendes Argument gegen die erwähnte Theorie erblickt. Und wenn auch die betreffenden Versuche Branlys nicht als einwandfrei gelten können, weil zwar die Feilspäne aus nichtoxydierbaren Metallen bestanden, die Elektroden aber, zwischen denen die Feilspäne sich befanden, wie gewöhnlich aus oxydierbaren Metallen hergestellt waren, so ist doch das Kohärerphänomen neuerdings auch mit Vorrichtungen erhalten worden, bei denen ausschliefslich edle Metalle zur Verwendung kamen. Ferner haben Tommasina[26]) und andere Experimentatoren Radiokonduktoren mit Kohleelektroden hergestellt, zwischen denen sich anstatt der Metallspäne Kohlepulver befand; und Aschkinafs[27]) zeigte, dafs auch ein Kontakt zwischen Kupferspitzen, die zum Glühen gebracht und dann rasch in Methylalkohol getaucht wurden, gegen elektrische Einflüsse empfindlich war, obschon der Alkohol, der die Elektroden während des ganzen Versuches bedeckte, jede Spur von Oxyd von der Oberfläche derselben entfernt hatte. Dennoch ergibt sich anderseits aus zahlreichen Beobachtungen, dafs eine dünne Schicht eines Oxyds oder einer anderen chemischen Verbindung auf den einander berührenden Flächen zwar nicht gerade notwendig, aber doch jedenfalls der Empfindlichkeit der Radiokonduktoren förderlich ist. Nach Dorn[28]), welcher, wie wir bereits sahen, gezeigt hat, dafs die an den Metallen haftende Gasschicht auf das Verhalten gegenüber den elektrischen Wellen von geringem oder gar keinem Einflufs ist, sind zur Herstellung von Radiokonduktoren weder die gar nicht oxydierbaren, noch die allzu leicht oxydierbaren Metalle gut geeignet. Für die drahtlose Telegraphie benutzt man, wie wir später noch sehen werden, fast ausschliefslich Radiokonduktoren aus Spänen leicht oxydierbarer Metalle zwischen Elektroden aus einem nicht oxydierbaren Metalle; nach Blondel[29]) kann man aber auch ebenso leicht umgekehrte Radiokonduktoren erhalten, deren Elektroden oxydierbar und deren Feilspäne nicht oxydierbar sind. Ebenso wie das Oxyd vermag eine andere chemische Verbindung des Metalles zu wirken; Silberfeilicht, welches im reinen Zustande gegen die Wellen nicht empfindlich ist, wird nach Blondel empfindlich, wenn man es durch Behandlung mit Schwefeldämpfen mit einem dünnen Überzug von Schwefelsilber versieht; ein zu dicker Überzug setzt frei-

lich die Empfindlichkeit wieder herab oder hebt sie auch vollständig auf, aber man ist in der Lage, durch mehr oder minder lange Einwirkung der Schwefeldämpfe die Dicke der Oberflächenschicht zu regulieren und damit den gewünschten Empfindlichkeitsgrad herzustellen.

Zu Gunsten der Theorie von Lodge lassen sich noch weitere Tatsachen anführen. Dafs leitende Teilchen, z. B. Quecksilbertröpfchen, die in irgend einem Öl zu einer Emulsion verteilt sind, unter dem Einflufs naher elektrischer Entladungen oder beim Durchgang eines elektrischen Stromes in Bewegung geraten oder auch zu gröfseren Aggregaten zusammenfliefsen können, wurde von Vicentini[30]), von Appleyard[31]) und von Campanile und Ciommo[32]) beobachtet; Tommasina[33]) stellte durch verschiedenartige Versuche fest, dafs Metallspäne zwischen Elektroden unter elektrischen Einflüssen sich in zusammenhängenden Ketten ordnen können, welche die beiden Elektroden miteinander verbinden; Sundorph[34]) endlich bemerkte, dafs Eisen- oder Nickelfeilicht, welches sich zwischen zwei Elektroden befand und durch Entladungen, die in der Nähe überschlugen, leitend geworden war, vermittelst eines schwachen Magneten nur zum Teil entfernt werden konnte, während ein Teil zurückblieb und eine zusammenhängende Brücke zwischen den Elektroden bildete. Das Auftreten von Funken an den Kontaktstellen des Kohärers wurde durch direkte Beobachtung von Arons[35]), von van Gulik[36]) und von Tommasina[33]) konstatiert, und auch in Fällen, in welchen die Funken zu schwach waren, um mit dem Auge beobachtet zu werden, wurden dieselben von Malagoli[37]) auf photographischem Wege nachgewiesen. Dafs auch schwache Funken zwischen Leitern, die einander berühren, eine Art von Adhäsion herbeiführen können, wurde bereits bei seinen ersten Versuchen von Lodge und später mit Hilfe eines besonderen Radiokonduktors von Maclean festgestellt.

Schon bei seinen ersten Versuchen hatte Branly bemerkt, dafs ebenso wie eine Erschütterung auch eine selbst geringe Erwärmung den ursprünglichen Widerstand des Radiokonduktors wiederherstellt. Wie dann Aschkinafs[39]) gezeigt hat, kommt hierfür nicht sowohl die Höhe der Temperatur an sich, als vielmehr die Steigerung der Temperatur in Betracht, während eine Temperaturerniedrigung auf die Leitfähigkeit, die der Radiokonduktor unter der Einwirkung der Wellen angenommen hatte, ohne

Einflufs ist. Nach der Ansicht von Aschkinafs wäre dieses verschiedene Verhalten gegenüber Temperaturerhöhungen und -erniedrigungen mit der Annahme einer Bildung von Brücken zwischen den Elektroden des Radiokonduktors nicht verträglich; indessen machte Sundorph[40]) geltend, es sei sehr wohl denkbar, dafs derartige Brücken, die eine Biegung nicht aushalten können, zerstört werden, wenn sie zwischen den festen Widerlagern der Elektroden durch Wärme ausgedehnt werden, während sie eine Zusammenziehung infolge von Temperaturabnahme ertragen können. Ein weiterer von Aschkinafs erhobener Einwand, dafs die Funken, welche nach der Theorie von Lodge zwischen den Teilchen des Radiokonduktors überspringen sollen, ausbleiben müssen, wenn die Röhre des Radiokonduktors evakuiert wird, ist durch die Versuche von Broca[41]) über die Entladung im Vakuum hinfällig geworden.

Dagegen läfst sich nicht verkennen, dafs die geschilderten Versuche, bei welchen Funken oder sichtbare Bewegungen materieller Teilchen beobachtet wurden, ungleich höhere elektromotorische Kräfte beanspruchten als diejenigen, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen in den Radiokonduktoren und insbesondere in den für die drahtlose Telegraphie benutzten zur Wirkung gelangen. Und wollte man auch annehmen, dafs sogar bei den schwächsten Potentialdifferenzen noch Funken, wenn auch nur winzige und direkt nicht wahrnehmbare, zu stande kommen können, so wäre damit noch keineswegs bewiesen, dafs die beobachteten Widerstandsabnahmen wirklich durch jene Funken veranlafst sind; gerade in Fällen, in welchen direkt sichtbare Funken auftreten, nehmen die Erscheinungen nicht selten einen unregelmäfsigen Charakter an und führen zu einer Zunahme anstatt zu einer Abnahme des Widerstandes. Wir hatten bereits flüchtig erwähnt, dafs nicht alle Radiokonduktoren durch elektrische Einflüsse eine Abnahme ihres Widerstandes erfahren, dafs es vielmehr auch Radiokonduktoren gibt, deren Widerstand durch elektrische Einflüsse gesteigert wird; diesen letzteren müssen wir nunmehr eine eingehende Betrachtung widmen.

39. Radiokonduktoren mit Widerstandszunahme.

Arons[42]) stellte wellenempfindliche Kontakte auf folgende Weise her. Ein auf Glas geklebter Stanniolstreifen wurde entzweigeschnitten und der Schnitt mit Metallfeilicht bestreut. Wurde

derselbe der Einwirkung von Wellen ausgesetzt und dabei unter dem Mikroskop betrachtet, so sah man Funken überspringen, welche zur Bildung der schon erwähnten Brücken führten. Häufig jedoch wurden diese Brücken durch stärkere Funken wieder zerstört, und das Resultat war anstatt einer Verminderung eine Steigerung des ursprünglichen Widerstandes. Derartige Widerstandszunahmen, die wahrscheinlich von einer ähnlichen Ursache herrührten, hatte bereits Branly[43]) an platiniertem Glas und an Blattgold, welches auf Glas geklebt war, beobachtet. In vollkommen regelmäfsiger Weise zeigt sich ferner diese Widerstandszunahme bei gewissen Vorrichtungen, welchen man wegen dieses Verhaltens den Namen „Antikohärer" gegeben hat und welche ebenso wie die anderen Radiokonduktoren als Wellenindikatoren dienen können. Eine dieser Vorrichtungen, welche von Neugschwender[44]) herrührt, wurde bereits in § 33 erwähnt. Dieselbe besteht aus einer auf Glas niedergeschlagenen Silberschicht, die durch einen Spalt von etwa $^1/_3$ mm Breite unterbrochen ist. Schaltet man diese Vorrichtung in den Stromkreis eines Galvanometers und einer galvanischen Batterie ein, so leitet sie den Strom nur, wenn man den Spalt, z. B. durch Behauchen, mit einer Flüssigkeitsschicht bedeckt. Nun nimmt sogar der Strom, der anfangs sehr schwach war, bis zu einem gewissen Grade an Stärke zu, weil sich durch Elektrolyse in der Flüssigkeitsschicht, welche die Ränder des Spaltes miteinander verbindet, dünne Metallfäden ablagern. Aber diese zarten Gebilde werden zerstört und der Widerstand, der in einem Falle bis auf 40 Ohm herabgegangen war, steigt bis zu einem Werte, der 80 000 Ohm betragen kann, sobald der Apparat von elektrischen Wellen getroffen wird. Nach dem Erlöschen der Wellen sinkt der Widerstand auf den ursprünglichen Wert zurück.

Unabhängig von Neugschwender hatte auch Aschkinafs[45]) ganz ähnliche Vorgänge beobachtet, die wahrscheinlich auf verwandten Ursachen beruhten. Er benutzte zu seinen Versuchen zwei Kupferspitzen, zwischen denen ein Wassertropfen eine Brücke bildete; auch ein gewöhnlicher Radiokonduktor aus Feilspänen wird nach dem Genannten zu einem Antikohärer, wenn man die Zwischenräume zwischen den Metallteilchen mit Wasser ausfüllt. Auf hiervon verschiedenen Ursachen dagegen soll nach Marx[46]) die Wirkung eines anderen Antikohärers beruhen, der „Schäferschen Platte", welche auch in die Praxis der drahtlosen Telegraphie Eingang gefunden hat. Wie der Apparat von Neugschwender, so besteht

auch derjenige von Schäfer aus einer auf Glas niedergeschlagenen Silberschicht, welche an einer oder mehreren Stellen durch Zwischenräume unterbrochen ist. Diese sind jedoch bei dem Schäferschen Apparate, ähnlich wie bei den Righischen Resonatoren, mit Hilfe eines Gravierdiamanten hergestellt und deshalb nur etwa $^1/_{100}$ mm breit; sie werden mit Firnis überzogen und das Ganze wird in ein Glasrohr eingeschlossen, aus dem man die Luft entfernt. Der Widerstand einer derartigen Schicht liegt immer unterhalb einer gewissen Grenze, weil die Ränder des Spaltes stets durch ein paar Metallfäden, die der Diamant nicht weggenommen hat, verbunden bleiben. Unter der Einwirkung elektrischer Wellen nimmt dieser Widerstand in starkem Maſse zu; er sinkt auf den ursprünglichen Betrag zurück, sobald diese Einwirkung aufhört. Nach Marx rührt dieses Verhalten zum Teil davon her, daſs der Widerstand der Metallfäden, welche die Ränder des Spaltes miteinander verbinden, infolge der Erwärmung durch die elektrischen Wellen zunimmt; die Hauptursache jedoch liegt in dem Auftreten von Funken, welche das Metall zum Verdampfen bringen und die Brücken zerstören. Sobald keine Funken mehr überspringen, schlagen sich die Metalldämpfe nieder, die Brücken bilden sich von neuem und der ursprüngliche Widerstand wird wieder hergestellt.

Einen anderen schon von Branly[43]) konstatierten Fall von Widerstandsvermehrung durch die elektrischen Wellen bietet das Bleidioxyd. Hier liegt die Ursache der Erscheinung, wie Sundorph[47]) gezeigt hat, in einer chemischen Wirkung der Wellen, welche das Bleidioxyd in das weniger gut leitende Monoxyd verwandeln. Auf eine ähnliche Ursache ist wahrscheinlich auch die von Aschkinaſs[39]) beim Schwefelkupfer beobachtete Widerstandsvermehrung zurückzuführen. In allen diesen Fällen würde es sich also um Ausnahmen handeln, welche von besonderen Ursachen bedingt sind. Dagegen hält Bose[48]) die Widerstandsvermehrung durch die elektrischen Wellen keineswegs für eine Ausnahme, sondern für eine ebenso normale Erscheinung wie die Widerstandsverminderung. Bose hat eine ganze Anzahl von Metallen und sonstigen leitenden Stoffen auf ihre Empfindlichkeit gegenüber den elektrischen Wellen geprüft und nicht wenige gefunden, deren Widerstand, anstatt zu sinken, mehr oder minder stark zunimmt. Besonders bemerkenswert ist das Verhalten des Kaliums. Ein Radiokonduktor aus zwei Kaliumkugeln, welche durch ein Mineralöl

gegen die Einwirkung der Luft geschützt sind, zeigt, wenn der Druck an der Berührungsstelle passend reguliert ist, unter dem Einfluſs der Wellen eine starke Widerstandszunahme; hört dieser Einfluſs auf, so stellt sich der ursprüngliche Widerstand von selbst wieder her. Dem gleichen Verhalten begegnet man, wenn auch in weniger ausgeprägtem Grade, bei anderen Alkalimetallen und Metallen der alkalischen Erden. Radiokonduktoren aus Zink, Eisen und anderen Metallen derselben Gruppen konnten so reguliert werden, daſs die elektrischen Wellen ihren Widerstand abwechselnd erhöhten und herabsetzten. Frisch gepulvertes Arsenik ergab den von Bose als negativ bezeichneten Effekt, d. h. eine Widerstandszunahme, wenn es sich in geringer Entfernung von der Ausgangsstelle der elektrischen Wellen befand und deshalb seitens derselben eine starke Einwirkung erfuhr. Wurde die Substanz von der Ausgangsstelle der Wellen entfernt, so gelangte man an einen „kritischen“ Abstand, bei welchem jede Wirkung aufhörte; bei weiterer Entfernung trat wieder eine Wirkung auf, doch diesmal eine positive, denn der Widerstand wurde vermindert. Beim Osmium dagegen ist der durch eine intensive Strahlung hervorgebrachte Effekt, den Bose als den normalen ansieht, positiv; eine schwache Strahlung verursacht einen geringen negativen Effekt. Bose gibt noch andere Beispiele sowohl positiver wie negativer Substanzen; unter den einen wie den anderen finden sich solche, die nach dem Aufhören der Einwirkung der Wellen von selbst zu ihrem ursprünglichen Widerstande zurückkehren, und andere, bei denen es zur Wiederherstellung des ursprünglichen Widerstandes einer Erwärmung oder mechanischer Erschütterungen bedarf.

Alle diese verschiedenartigen Erscheinungen sucht Bose von einem einheitlichen Gesichtspunkte aus zu erfassen. Nach seiner Ansicht kann beinahe jede Substanz, ausgenommen vielleicht die gegen elektrische Wellen gänzlich unempfindlichen, in zwei allotropen Varietäten existieren, die sich in ihren physikalischen Eigenschaften, also auch in ihrer elektrischen Leitfähigkeit voneinander unterscheiden. Von diesen beiden Varietäten ist in dem natürlichen, nicht durch elektrische Einflüsse gestörten Zustande der Substanz nur die eine vorhanden, aber dieselbe wird durch die elektrischen Wellen teilweise in die andere Varietät verwandelt. Dieser Prozeſs bleibt auf eine Oberflächenschicht der Substanz beschränkt und schreitet auch bei zunehmender Intensität der Wellen nicht bis zur vollständigen Umwandlung der einen Varietät

in die andere fort, sondern nur bis zu einem gewissen mit den gegebenen Verhältnissen verträglichen Maximum dieser letzteren. Bei weiterer Zunahme der Intensität der Wellen erfolgt dann wieder eine teilweise Umwandlung im entgegengesetzten Sinne. Die Stabilität dieses Erzeugnisses der Einwirkung der Wellen ist bei den verschiedenen Substanzen verschieden grofs; bei einigen ist dasselbe aufserordentlich unstabil und hat nur so lange Bestand, als die Einwirkung der Wellen andauert, um nach dem Aufhören derselben sofort wieder zu verschwinden; bei anderen ist das Umwandlungsprodukt mehr oder weniger stabil, und die Rückkehr zum Anfangszustande mufs durch besondere Agentien, z. B. durch Wärme oder mechanische Erschütterungen, hervorgebracht werden. Einer wiederholten Einwirkung der Wellen gegenüber zeigt sich die Substanz immer weniger empfindlich, weil das Umwandlungsprodukt in der Zwischenzeit nicht vollständig verschwunden ist. Es stellt sich also ein Zustand der Ermüdung oder Erschöpfung ein, demjenigen durchaus ähnlich, welchen man im Tierreich an der Nervensubstanz vorfindet.

Diese Ansichten Boses werden jedoch von anderen Forschern durchaus nicht geteilt. Auf Grund eigener Versuche und einer kritischen Prüfung der von Bose mitgeteilten Resultate gelangt Guthe[49]) zu dem Ergebnis, dafs diese letzteren und insbesondere der Wechsel zwischen Widerstandszunahme und -abnahme, den Bose bei intermittierender Einwirkung der Wellen beobachtet hatte, ausschliefslich dem komplizierten Bau der Feilichtröhre zuzuschreiben sind. Mizuno[50]), der mit Feilichtröhren Ergebnisse erhalten hatte, die von denjenigen Boses für positive Metalle nur wenig abweichen, fand bei einem Radiokonduktor mit einfachem Kontakt zwischen Bleistücken keine Spur eines abwechselnden Verhaltens; bei einem Radiokonduktor aus Blei mit zwei Kontakten dagegen stieg der Widerstand zuerst kurze Zeit hindurch und sank dann auf einen konstanten Minimalwert. Auch beim Kalium, welches nach den Angaben von Bose von sämtlichen Metallen am stärksten negativ ist, fand Mizuno als normales Verhalten den positiven Effekt. Guthe wiederum, der als empfindlichen Kontakt die Berührungsstelle zweier Kugelflächen benutzte, beobachtete den von Bose als negativ bezeichneten Effekt bei sämtlichen untersuchten Metallen, besonders aber bei den weicheren, wenn deren Oberfläche frisch gereinigt war; auch der Wechsel von Widerstandszunahme und -abnahme, auf den Bose besonderes Gewicht legt,

wurde von Guthe konstatiert. Aus der Gesamtheit der Erscheinungen und weiteren eigenen Versuchen gewann Guthe indessen den Eindruck, dafs der negative Effekt, d. h. die Widerstandszunahme, der dann zumeist die reguläre Abnahme folgt, von kleinen Metallteilchen verursacht werde, welche zwischen den beiden einander nur unvollkommen berührenden Kugelflächen eine Verbindung herstellen und durch starke elektrische Einwirkungen zur Seite geschleudert werden. Ist diese Auffassung richtig, so fallen die von Bose beobachteten abnormen Erscheinungen unter dieselbe Klasse wie der Neugschwendersche Antikohärer und die Schäfersche Platte.

40. Widerstandsänderungen durch galvanische Ströme.

Die Widerstandsänderungen, die wir bisher kennen gelernt haben, waren zumeist durch elektrische Wellen verursacht, die von einem Hertzschen Oszillator oder einer ähnlichen Vorrichtung ausgesandt wurden. Allerdings hatte schon Branly beobachtet, dafs eine galvanische Batterie, in deren Stromkreis eine Feilichtröhre eingeschaltet wurde, in manchen Fällen den Widerstand dieser letzteren ebenso herabsetzte, wie dies durch Funken, die in der Nähe überschlugen, geschehen konnte. Allein das praktische Interesse der drahtlosen Telegraphie brachte es mit sich, dafs man auch bei den wissenschaftlichen Untersuchungen über die Radiokonduktoren gröfstenteils Bedingungen herzustellen suchte, die denjenigen der Praxis möglichst entsprachen; so kam es, dafs auch zu diesen Untersuchungen fast ausschliefslich die Wellen benutzt wurden. In Wirklichkeit jedoch hatte Branly nicht allein die Tatsache der Widerstandsverminderung durch galvanische Ströme festgestellt, sondern er hatte auch bemerkt, dafs der Widerstand der Feilichtröhre schrittweise, in direktem Verhältnis zur Anzahl der benutzten Elemente, kleiner wurde. Wir brauchen kaum hervorzuheben, welche Bedeutung dieser letzteren Tatsache für eine mögliche Erklärung des Phänomens der Radiokonduktoren zukommen müfste. Freilich läfst sich einwenden, die Proportionalität zwischen Ursache und Wirkung sei nur dadurch bedingt, dafs in der Feilichtröhre so viele Kontakte vorhanden sind und dafs je nach der Stärke des Stromes eine geringere oder gröfsere Zahl derselben an der Widerstandsverminderung teilnimmt. Eine Stütze erhält dieser Einwand durch Versuche, die E. v. Gulik[51]) mit Einzelkontakten zwischen schwach oxydierten und leicht gegeneinander geprefsten

Kugeln angestellt hat. Wurde ein solcher Kontakt in einen Stromkreis eingeschaltet, der eine elektromotorische Kraft enthielt, die nach Belieben verändert werden konnte, so blieb der Widerstand, der anfangs über 10000 Ohm betragen hatte, gemäſs der Theorie von Lodge unverändert, solange die elektromotorische Kraft eine bestimmte Grenze nicht überschritten hatte. Nachher sank der Widerstand unvermittelt bis auf etwa 4 Ohm. Auch Aschkinaſs[27]) fand, daſs der Widerstand eines empfindlichen Radiokonduktors mit einfachem Kontakt durch einen galvanischen Strom nur dann herabgesetzt wurde, wenn die elektromotorische Kraft nicht unterhalb eines gewissen „kritischen" Wertes lag; dieser betrug in vielen Fällen ungefähr 0,2 Volt, schwankte aber von einem Radiokonduktor zum anderen innerhalb ziemlich weiter Grenzen. Der kritische Wert der elektromotorischen Kraft läſst sich nach Aschkinaſs bestimmen, indem man auf den Radiokonduktor eine höhere elektromotorische Kraft einwirken läſst und dieselbe allmählich so weit herabsetzt, bis ihre Wirkung durch Erschütterungen wieder aufgehoben werden kann; die elektromotorische Kraft, die in diesem Augenblicke in dem Stromkreise wirkte, betrug in vielen Fällen ungefähr die Hälfte des kritischen Wertes. Bei Anwendung eines Stromes, dessen elektromotorische Kraft gleich der kritischen war, ging die Widerstandsabnahme, die unter Einwirkung elektrischer Wellen augenblicklich einzutreten schien, verhältnismäſsig langsam vor sich und erreichte mitunter erst nach einer Minute ihren vollen Betrag.

Trowbridge[52]), der an Feilichtröhren Widerstandsverminderungen beobachtet hatte, die innerhalb gewisser Grenzen der durch den Stromkreis gesandten Elektrizitätsmenge proportional waren, fand bei einem Radiokonduktor aus einer Reihe von Stahlkugeln ebenfalls, daſs eine merkliche Widerstandsverminderung überhaupt erst dann eintrat, wenn die elektromotorische Kraft im Stromkreise eine gewisse Grenze überschritten hatte. Das Vorhandensein eines kritischen Wertes der elektromotorischen Kraft ergibt sich ferner aus anderen Untersuchungen, die Guthe teils in Verbindung mit Trowbridge[53]), teils für sich allein[49]) an Kugelkontakten angestellt hat. Wird durch einen solchen Kontakt ein Strom gesandt und die Intensität desselben allmählich gesteigert, so nimmt die Potentialdifferenz zwischen den beiden Kugelflächen anfangs regelmäſsig zu; von einem gewissen Punkte ab ändert sie sich jedoch nur noch langsam und strebt asymptotisch einem Grenzwerte zu, der

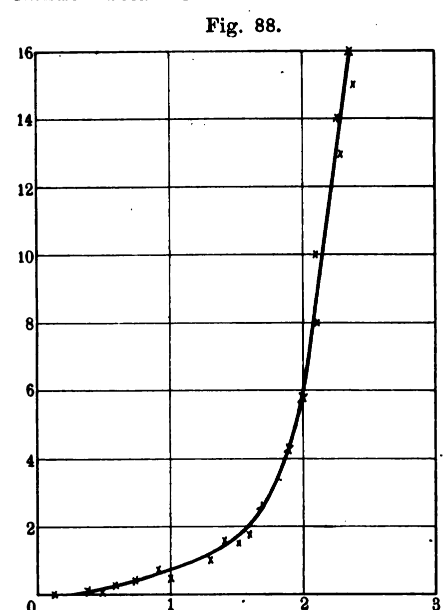
je nach der Natur des Metalles, aus welchem die beiden Kugelflächen bestehen, verschieden ausfällt, von der elektromotorischen Kraft der benutzten Batterie dagegen unabhängig ist. Das gleiche Verhalten fand Guthe auch, als er anstatt des kontinuierlichen Stromes einen Wechselstrom auf den Kontakt einwirken liefs.

Andere Beobachter sind freilich zu abweichenden Ergebnissen gelangt. So konnten Blondel und Dobkevitsch[54]) zwar bestätigen, dafs es für jede Feilichtröhre einen von der Natur und dem Oxydationsgrade des Metalles und von dem auf das Feilicht ausgeübten Drucke abhängigen Wert der kritischen elektromotorischen Kraft gibt, welcher den Widerstand der Feilichtröhre dauernd herabsetzt; aber sie fanden Widerstandsverminderungen von vorübergehender Art auch bei Anwendung geringerer elektromotorischer Kräfte.

Noch weiter geht Eccles[55]), der das Vorhandensein einer kritischen elektromotorischen Kraft überhaupt in Abrede stellt und sich wieder den Schlufsfolgerungen Branlys nähert. Er benutzte zu seinen Untersuchungen eine grofse Anzahl von Radiokonduktoren, meist vom Typus derjenigen Marconis, die, wie wir sehen werden, aus Nickelfeilicht zwischen Silberzylindern mit parallelen, etwa 0,3 mm voneinander entfernten Endflächen bestehen; zuweilen kam auch Eisenfeilicht zur Verwendung oder eine eiserne Spitze auf einer Eisenplatte lieferte den empfindlichen Kontakt. Die Widerstandsverminderung wurde durch eine elektromotorische Kraft bewirkt, die mit Hilfe eines beweglichen Kontaktes vom Schliefsungskreise einer Akkumulatorenbatterie abgezweigt war; eine elektrische Klingel, die in kurzen und regelmäfsigen Zeitabständen leichte Schläge gegen die Röhre des Radiokonduktors vollführte, sorgte für selbsttätige Wiederherstellung des Anfangswiderstandes. Ein Schlag folgte immer so rasch auf den anderen, dafs das in den Stromkreis der Feilichtröhre eingeschaltete Galvanometer in der Zwischenzeit nicht von der impulsiven Ablenkung, die es infolge der Widerstandsverminderung erlitten hatte, in die dem Anfangswiderstand entsprechende Stellung zurückkehren konnte; die einzelnen Impulse vereinigten auf diese Weise ihre Wirkung zu einer konstanten Ablenkung, die einem mittleren Werte des Widerstandes entsprach. Wurde dann die auf den Radiokonduktor einwirkende elektromotorische Kraft verändert, so zeigte es sich, dafs zu jedem Werte derselben ein bestimmter Wert des Widerstandes der Feilichtröhre gehörte. Das Ergebnis einer Reihe derartiger Messungen

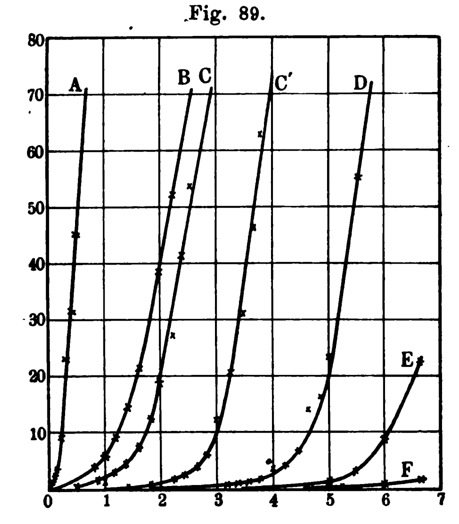
ist in der beistehenden Kurve (Fig. 88) vereinigt; die Abszissen stellen die auf den Radiokonduktor einwirkenden elektromotorischen Kräfte, die Ordinaten die zugehörigen Galvanometerausschläge dar. Der Verlauf der Kurve zeigt ohne weiteres, dafs von einer wirklichen kritischen elektromotorischen Kraft nicht die Rede sein kann; schon bei den geringsten elektromotorischen Kräften ist eine Abnahme des Widerstandes zu bemerken. Bliebe der Widerstand bis zu einem gewissen Werte der elektromotorischen Kraft unverändert, so müfste offenbar anstatt des betreffenden Teiles der Kurve eine durch den Koordinatenanfang gehende Gerade vorhanden sein. Immerhin aber findet sich, wenn man den Verlauf der Kurve verfolgt, eine Stelle, an welcher die Krümmung besonders stark ausgeprägt ist und der Widerstand für eine bestimmte Zunahme der elektromotorischen Kraft besonders rasch abnimmt; der betreffende Wert der elektromotorischen Kraft, der dem kritischen Werte entspricht, wie wir ihn in den Arbeiten anderer Beobachter kennen gelernt haben, liefert nach Eccles ein Mafs für die Empfindlichkeit des Radiokonduktors. Ordnet man nämlich eine Anzahl von Radiokonduktoren nach ihrem auf die angegebene Weise bestimmten Verhalten gegenüber dem elektrischen Strome, so erhält man die gleiche Reihenfolge, wie wenn man dieselben in Bezug auf ihre Empfindlichkeit gegenüber der Einwirkung der elektrischen Wellen miteinander vergleicht. In den Kurven der Fig. 89 (a. f. S.) tritt dies klar hervor. Dieselben beziehen sich auf sieben Radiokonduktoren; die mehr oder minder grosse Leichtigkeit, mit welcher dieselben auf die Einwirkung der elektrischen Wellen ansprachen, wurde direkt ermittelt und sie sind danach mit den aufeinanderfolgenden Buchstaben des Alphabets bezeichnet. Wie man sieht, sind die für die praktische Anwendung empfindlichsten

Fig. 88.



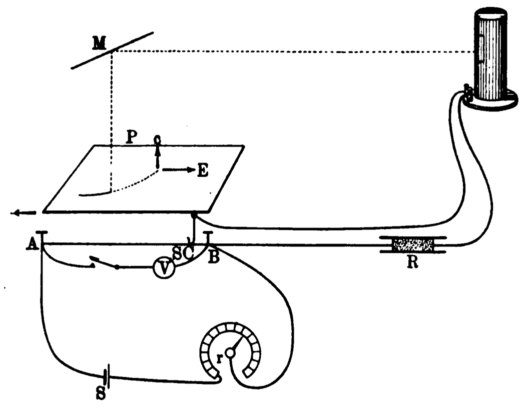
Radiokonduktoren zugleich diejenigen, deren Widerstand durch kontinuierliche elektromotorische Kräfte am raschesten verändert wird und welche den niedrigsten Wert der kritischen elektromotorischen Kraft besitzen.

Fig. 89.



Zu ganz ähnlichen Resultaten wie Eccles ist in einer neueren Arbeit auch Bose [56]) gelangt. Wie Eccles, so liefs auch Bose eine elektromotorische Kraft, die von dem Schliefsungskreise eines konstanten Stromes abgezweigt war, auf Feilichtröhren und manchmal auch auf einfache Kontakte einwirken. Während aber Eccles, wenn die benutzte elektromotorische Kraft den Widerstand der Feilichtröhre dauernd verändern konnte, durch Erschütterung dieser letzteren immer gleich für Wiederherstellung des Anfangszustandes sorgte, studierte Bose die Widerstandsänderungen, welche eine kontinuierliche Änderung der elektromotorischen Kraft begleiteten. Der Versuch wurde folgendermafsen angestellt. An den Verschiebungen des beweglichen Kontaktes, mit dessen Hilfe die veränderliche elektromotorische Kraft von dem Schliefsungskreise einer Batterie abgezweigt wurde, nahm

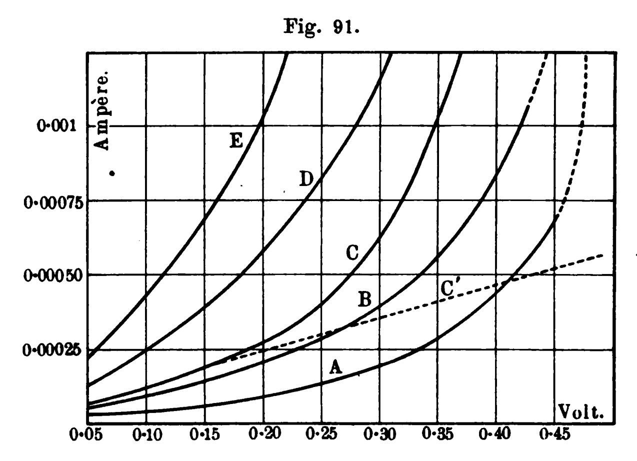
Fig. 90.



auch ein lichtempfindliches Papier teil, auf das ein von dem Spiegel des Galvanometers, das mit dem Radiokonduktor verbunden war, zurückgeworfener Lichtstrahl fiel. Die Versuchsanordnung ist in Fig. 90 schematisch dargestellt; AB ist der Draht, von welchem

der durch den Radiokonduktor gesandte Strom abgezweigt wird; S ist die Batterie und r ein Widerstand zur Regulierung der Stromstärke; SC ist der bewegliche Kontakt und mit diesem ist eine Platte P verbunden, auf welcher das lichtempfindliche Papier aufliegt. Die Verschiebungen dieses letzteren sind proportional den Änderungen der elektromotorischen Kraft und erfolgen senkrecht zu den Bewegungen, welche der von dem Spiegel des Galvanometers zurückgeworfene Strahl ausführt, falls die Nadel des Galvanometers abgelenkt wird. Wären Papier und Lichtstrahl unbeweglich, so würde auf dem ersteren lediglich an der Stelle, an welcher dasselbe von dem Lichte getroffen wird, ein Fleck entstehen; die Verschiebung

Fig. 91.



des Papieres und die gleichzeitigen Ablenkungen des Lichtstrahles dagegen bewirken, daſs statt eines Fleckes eine Kurve erscheint, welche ohne weiteres erkennen läſst, wie sich mit Zunahme oder Abnahme der elektromotorischen Kraft, welche auf die Röhre einwirkt, der Widerstand dieser letzteren ändert.

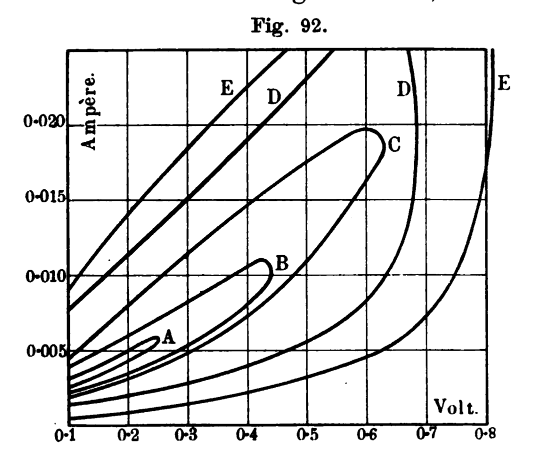
Das Studium dieser Kurven, die Bose als „charakteristische“ bezeichnet, ist ungemein instruktiv. Die Kurven der Fig. 91 z. B. beziehen sich auf den Widerstand eines Kontaktes zwischen einer Eisenplatte und einer eisernen Spitze; die verschiedenen Anfangswerte der Stromstärke entsprechen dem verschiedenen Drucke, mit welchem die Spitze auf der Platte ruhte; man erkennt ohne weiteres, wie sich in jedem Falle die Intensität des Stromes und folglich auch der Widerstand des Kontaktes mit der elektromotorischen Kraft änderte. Die Kurve A entspricht einem geringen Druck zwischen Spitze und Platte; mit zunehmender elektro-

motorischer Kraft sinkt der Widerstand zuerst langsam, dann aber, an einer Stelle, welche sich mit dem von anderen Beobachtern konstatierten kritischen Werte der elektromotorischen Kraft deckt, unvermittelt rasch. In den folgenden Kurven, die stärkeren Drucken an der Berührungsstelle angehören, verliert sich jedoch diese Eigentümlichkeit mehr und mehr und die Widerstandsänderung gestaltet sich immer gleichmäfsiger. (Die Linie C' wurde erhalten, indem man den Radiokonduktor an einer bestimmten Stelle aus dem Stromkreise ausschaltete und ihn durch einen konstanten Widerstand von gleicher Gröfse ersetzte; diese Linie ist nichts weiter als der bekannte Ausdruck des Ohmschen Gesetzes für einen konstanten Widerstand und hatte lediglich den Zweck, die Zuverlässigkeit des Apparates zu kontrollieren.) Beinahe die gleichen Kurven wie mit dem einfachen Kontakt zwischen Platte und Spitze erhielt Bose auch mit den vielfachen Kontakten der Feilichtröhren.

Zu interessanten Ergebnissen gelangte Bose ferner mit Bezug auf das Verhalten von Feilichtröhren unter zyklisch veränderlichen elektromotorischen Kräften. Setzt man den Radiokonduktor unter sorgfältiger Vermeidung von Erwärmung, Erschütterungen und anderen Einflüssen, welche die erworbene Leitfähigkeit zerstören könnten, einer in kontinuierlicher Weise zuerst zunehmenden und dann wieder abnehmenden elektromotorischen Kraft aus, so sollte man nach den zuvor beschriebenen Versuchen für einen bestimmten Betrag der elektromotorischen Kraft auch jedesmal denselben Widerstand erwarten, gleichviel ob jener Betrag während der Periode der Zunahme oder der Abnahme derselben erreicht wurde. Statt dessen findet sich aber für eine bestimmte elektromotorische Kraft der Widerstand während der Periode der Abnahme stets niedriger als während der Zunahme; oder genauer gesagt — da ja der Widerstand nicht direkt gemessen wird — die Stromstärke ist bei gleicher elektromotorischer Kraft in der Periode der Abnahme stets gröfser als während der Zunahme derselben. Man sieht dies an den Kurven der Fig. 92 (a. f. S.), in welcher, wie bei Fig. 91, die Abszissen die elektromotorischen Kräfte, die Ordinaten die zugehörigen Stromintensitäten repräsentieren; man hat sich vorzustellen, dafs von jeder Kurve zuerst der untere Zweig durch Bewegung von links nach rechts, dann der obere Zweig durch Bewegung von rechts nach links entstanden ist. Solange die elektromotorische Kraft, wie dies bei der Kurve A der Fall ist, überhaupt

keinen hohen Betrag erreicht, ist auch die Stromstärke während der Abnahme der ersteren nur wenig höher als während der Zunahme; es ist in der zweiten Periode von der ersten her nur ein geringer Rückstand von Leitfähigkeit vorhanden, und die Kurve schliefst dementsprechend nur eine kleine Fläche ein. Je höher die elektromotorische Kraft, bis zu welcher man fortschreitet, desto gröfser wird auch der Rückstand an Leitfähigkeit und die von der Kurve eingeschlossene Fläche. Ferner sieht man, besonders an den Kurven *B* und *C*, dafs die Widerstandsänderungen den Änderungen der elektromotorischen Kraft nur mit einer gewissen Verzögerung nachfolgen. Die gröfsten Stromstärken finden sich nämlich nicht bei den Maximalwerten, welche die elektromotorische Kraft im Verlaufe ihrer Änderungen erreicht, sondern bei geringeren Werten derselben. Bose weist darauf hin, dafs dieses Verhalten der Feilichtröhren, wie es sich aus den mitgeteilten Kurven ergibt, demjenigen eines magnetischen Körpers unter einer zyklisch veränderlichen magnetisierenden Kraft durchaus entspricht. Anders dagegen verhalten sich diejenigen Radiokonduktoren, bei denen die Widerstandsänderung nur so lange anhält, als sie der Einwirkung einer elektromotorischen Kraft ausgesetzt sind und die nach dem Erlöschen der Kraft selbsttätig zu ihrem normalen Widerstande zurückkehren. Als Bose auf einen Radiokonduktor dieser Klasse eine zyklisch veränderliche elektromotorische Kraft einwirken liefs, fand er für einen bestimmten Betrag derselben immer den gleichen Widerstand, gleichgültig ob die Kraft in Zu- oder Abnahme begriffen war. Die beiden Zweige der Kurve, welche der aufsteigenden und absteigenden Phase des Prozesses entsprechen, fallen also zusammen; die Widerstandsabnahme ist nicht, wie bei den anderen Radiokonduktoren, gegen die elektromotorische Kraft verspätet, sondern sie tritt gleichzeitig mit derselben ein, und mit dem Zusammenfallen der beiden Kurven-

Fig. 92.



zweige verschwindet auch die Fläche, welche in dem vorher beschriebenen Falle und ebenso bei anderen zyklischen Prozessen von der Kurve eingeschlossen wird und bei diesen letzteren unter dem Namen der Hysteresisfläche ein Mafs für den Energieverbrauch des Prozesses abgibt.

41. Schlufsbetrachtungen.

Für die Praxis der drahtlosen Telegraphie sind die im vorstehenden Paragraphen mitgeteilten Tatsachen nicht ohne Bedeutung. Nach den neuesten Untersuchungen ist es zwar zum mindesten zweifelhaft geworden, ob wirklich ein kritischer Wert der elektromotorischen Kraft existiert, der erreicht werden mufs, wenn überhaupt eine Widerstandsabnahme stattfinden soll, und der dann dieselbe ganz unvermittelt herbeiführt; immerhin aber zeigen diese Untersuchungen übereinstimmend, dafs die elektromotorische Kraft in einem Stromkreise, welcher einen Radiokonduktor enthält, innerhalb gewisser Grenzen eingeschlossen sein mufs. So hat Aschkinafs [27]) beobachtet, dafs eine Batterie, deren elektromotorische Kraft um ein weniges geringer ist als die von ihm als kritische bezeichnete, den Widerstand eines Radiokonduktors herabzusetzen vermag, wenn man den Stromkreis derselben einmal oder mehrere Male unterbricht. Die Wirkung rührt in diesem Falle offenbar von dem Extrastrom bei der Unterbrechung her, dessen elektromotorische Kraft sich derjenigen der Batterie hinzufügt. Die Selbstinduktion des Stromkreises, welcher den Radiokonduktor enthält, sollte deshalb sehr gering sein; da diese Bedingung nur schwer zu erfüllen ist, so wird es noch notwendiger, dafs auch die in den Stromkreis des Radiokonduktors eingeschlossene Batterie nur eine kleine elektromotorische Kraft besitzt. Tritt dann zu dieser letzteren noch eine mäfsige elektromotorische Kraft hinzu — mag dieselbe nun, wie es in der drahtlosen Telegraphie der Fall ist, von den elektrischen Wellen stammen, welche den Empfangsapparat treffen, oder mag sie auf andere Weise hervorgebracht sein — so genügt dies, um den Widerstand des Radiokonduktors bedeutend herabzusetzen.

Weniger einfach liegen die Verhältnisse bezüglich der Auffassung, die wir uns nach den im vorigen Paragraphen mitgeteilten Tatsachen von dem Phänomen der Radiokonduktoren zu bilden haben. In ihrer ursprünglichen Gestalt wird offenbar weder die Theorie von Branly noch diejenige von Lodge diesen Tat-

sachen gerecht. Das gleiche gilt von einer anderen Theorie, zu welcher Auerbach[57]) auf Grund von Versuchen über die Einwirkung von Schallwellen auf den Widerstand unvollkommener Kontakte gelangt ist. Auch Schallwellen setzen nämlich diesen Widerstand bedeutend herab*), und aus dieser Analogie ihres Verhaltens mit demjenigen der elektrischen Wellen zieht Auerbach den Schlufs, dafs auch diese letzteren in den einander berührenden Körpern eine Art von Pulsationen, d. h. von regelmäfsig abwechselnden Ausdehnungen und Zusammenziehungen hervorrufen und dadurch die benachbarten Flächen einander zeitweilig so nahe bringen, dafs nunmehr die Adhäsionskräfte zwischen denselben ins Spiel treten können. Die Analogie, von welcher diese Auffassung ausgeht, ist indessen nur eine unvollkommene, denn die Wirkung der Schallwellen tritt am besten an einem mit Kugeln oder Schrauben, also mit grofsen Metallstücken, gefüllten Rohre, nicht aber an der gewöhnlichen Feilichtröhre zu Tage, und vor allem sagt sie nichts über die Ursache der Empfindlichkeit der Feilichtröhren gegenüber der elektromotorischen Kraft einer in den Stromkreis eingeschlossenen galvanischen Batterie.

Diese letztere Erscheinung bildet die Grundlage einiger neueren Theorieen, welche der elektromotorischen Kraft die ausschlaggebende Rolle bei dem Verhalten der Radiokonduktoren zuweisen. Befinden sich zwei leitende Teilchen eines Radiokonduktors in so geringem Abstande voneinander, dafs zwischen denselben nur eine überaus dünne Schicht des umgebenden Dielektrikums eingeschlossen ist, so kann man dieselben nach Ferrié[58]) als eine Art von Kondensator betrachten, dessen Belegungen durch die Metallteilchen gebildet werden. Zwischen diesen kommt unter dem Einflusse der elektrischen Wellen oder einer konstanten elektromotorischen Kraft eine Potentialdifferenz zu stande, und wenn dieselbe einen gewissen Betrag erreicht, so entlädt sich der Kondensator durch einen Funken, der das Dielektrikum durchbohrt und unter Umständen auch zwischen den Belegungen eine Brücke herstellen kann. Infolge des überaus geringen Abstandes zwischen den Belegungen bedarf es hierzu nur einer geringen Potentialdifferenz. Übrigens mufs diese aufser von der Natur des die Metallteilchen einhüllenden Gases auch von dem Metall des Radiokonduktors selbst abhängen.

*) Selbstverständlich sind hier permanente Widerstandsverminderungen gemeint, nicht aber die bekannten vorübergehenden Widerstandsänderungen, welche im Mikrophon Verwendung finden.

Das Verhalten derjenigen Radiokonduktoren, welche selbsttätig zu ihrem normalen Widerstande zurückkehren, erklärt sich nach Ferrié folgendermafsen. Berühren sich zwei Metallteilchen, so zieht sich an den einander nächsten Stellen das umgebende Dielektrikum gänzlich zur Seite und läfst zwischen denselben einen leeren Raum. Durch diesen hindurch erfolgt nun, selbst wenn zwischen den beiden Teilchen nur eine geringe Potentialdifferenz entsteht, eine Entladung nach Art derjenigen, wie sie in Röhren, aus denen die Luft ausgepumpt ist, in bekannter Weise vor sich gehen. Auf solche Art wird das Feilicht leitend. Steigt die elektromotorische Kraft, welche auf das Feilicht einwirkt, so wächst die Intensität der stillen Entladung; der leere Raum, in welchem dieselbe stattfindet, erweitert sich und die Leitfähigkeit der Feilichtröhre erfährt eine weitere Zunahme. Wird endlich die elektromotorische Kraft grofs genug, um zwischen den beiden Metallteilchen einen Funken überspringen zu lassen, so bildet dieser zwischen denselben vorübergehend eine leitende Brücke. Mit dem Aufhören der Ursache verschwindet auch die auf die geschilderte Weise entstandene Leitfähigkeit zum gröfsten Teile wieder.

Ähnliche Anschauungen wie Ferrié vertreten Guthe und Trowbridge[53]). Nach ihrer Auffassung sind die Metallteilchen, zwischen denen eine unvollkommene Berührung stattfindet, von einer verdichteten Atmosphäre umgeben, welche vielleicht aus Wasserdampf besteht und die Elektrizität nur schlecht leitet. Eine Potentialdifferenz zwischen den Teilchen hat eine Anziehung zur Folge; die benachbarten Teilchen kommen einander näher, und auf einer Fläche von geringer Ausdehnung kann die Dicke der trennenden Schicht zwischen denselben so weit vermindert werden, dafs sie nur noch von der Gröfsenordnung der Moleküle ist. Zwischen den Teilchen geht nunmehr ein Strom über; von dem einen der Teilchen trennen sich positive Ionen und stellen mit dem anderen Teilchen eine unmittelbare Verbindung her, welche eine entsprechende Abnahme des Widerstandes zur Folge hat. Dieser verminderte Widerstand bleibt dann auch bei Unterbrechung des Stromes bestehen; nach den Beobachtungen von Guthe und Trowbridge ist dies sogar dann noch der Fall, wenn man den Stromkreis mit einer schwächeren elektromotorischen Kraft aufs neue schliefst. Eine stärkere elektromotorische Kraft dagegen führt zur Lostrennung weiterer Ionen und damit zu einer weiteren Widerstandsverminderung, soweit die Ausdehnung der vorhin er-

wähnten Fläche dies zuläſst. Wird die Stromstärke durch Vergröſserung der Potentialdifferenz zwischen den Teilchen über diese Grenze hinaus gesteigert, so sind zwei Möglichkeiten vorhanden. Entweder vermag die erwähnte Fläche sich durch Aussendung von Ionen in den umgebenden Raum auszudehnen und dem Strom einen seiner gesteigerten Intensität entsprechend verbreiterten Durchgang darzubieten, oder dies ist nicht möglich, und die durch den stärkeren Strom entwickelte Wärme muſs schlieſslich die beiden einander berührenden Flächen zusammenschmelzen. Guthe und Trowbridge nehmen an, daſs das erstere stattfindet. Von dieser Annahme ausgehend, gelangen sie für die Beziehung zwischen der Stromstärke und der Potentialdifferenz an den Elektroden des Radiokonduktors zu einer Formel, welche die Beobachtungen mit hinreichender Annäherung wiedergibt.

Auch nach Eccles[55]), mit dessen Arbeiten wir uns bereits in § 40 beschäftigt haben, ist das Verhalten der Radiokonduktoren ausschlieſslich durch die Höhe der Potentialdifferenz zwischen den Polen des Radiokonduktors, nicht aber durch die etwaigen Änderungen derselben bedingt. Abweichend von Ferrié sowie von Guthe und Trowbridge berücksichtigt Eccles jedoch mehr die Wirkung dieser Potentialdifferenz auf die leitenden Teilchen selbst und nicht so sehr ihre Wirkung auf die zwischen denselben vorhandenen isolierenden Schichten. Ein leitendes Teilchen, das nicht kugelförmig, im übrigen aber von beliebiger Gestalt sein darf, befinde sich in einem gleichförmigen elektrischen Felde, in welchem die elektrische Kraft allenthalben die gleiche Gröſse und Richtung hat. Ein derartiges Feld besteht z. B. zwischen zwei auf verschiedenes Potential geladenen ebenen und parallelen Platten. In einem derartigen Felde strebt das Teilchen sich mit seiner gröſsten Ausdehnung parallel zur Richtung der Kraftlinien zu stellen, und es wird sich dieser Richtung um so mehr nähern, je gröſser die Potentialdifferenz zwischen den beiden Platten ist. Eine Anzahl von Teilchen, welche in dem Kraftfelde vorhanden sind, werden alle die gleiche Einwirkung erfahren, und es muſs darum zwischen benachbarten Teilchen leichter eine Berührung eintreten als bei völlig unregelmäſsiger Anordnung. Auch die von Lodge angenommene Zusammenschweiſsung der Teilchen muſs bei der geschilderten Anordnung derselben häufiger und vollkommener eintreten. Man begreift deshalb, daſs auch für diesen Vorgang die elektromotorische Kraft, welche auf den Radiokonduktor einwirkt,

von Bedeutung ist. Nach Eccles gehen also in einer Feilichtröhre zwei gesonderte Prozesse vor sich; der eine derselben ist rein mechanischer Natur und besteht in einer Orientierung der Teilchen, der andere ist elektrothermisch und führt zur Entstehung von Brücken zwischen den Teilchen. Schon in dem unbeeinflufsten Radiokonduktor müssen ja die Teilchen einander hier und da berühren und können darum mit Leichtigkeit zusammengelötet werden; so erklärt es sich, dafs schon geringe elektromotorische Kräfte die Leitfähigkeit des Radiokonduktors etwas erhöhen. Den Haupteinflufs schreibt jedoch Eccles der Orientierung der Teilchen zu. Mit Hilfe von Rechnungen, welche an dieser Stelle nicht wiedergegeben werden können, findet er zwischen der Potentialdifferenz an den Elektroden des Radiokonduktors und der Stärke des Stromes in demselben eine Beziehung, die sich mit den auf experimentellem Wege für einen Spezialfall ermittelten Daten ziemlich gut deckt. Die Abweichung zwischen den theoretisch gefundenen und den Versuchsergebnissen liefert nach Eccles einen Mafsstab für den Anteil des elektrothermischen Prozesses an der gesamten Erscheinung.

Wie die Theorie von Ferrié, so besitzt auch diejenige von Eccles das Verdienst, die Wirkung der galvanischen Ströme und der durch elektrische Wellen erzeugten wechselnden Potentialdifferenzen von einem einheitlichen Gesichtspunkte aus zu erfassen. Sie ist indessen mangelhaft, wenigstens in der Form, die Eccles ihr ursprünglich gegeben; sie gilt nur für solche Fälle, in welchen die Widerstandsabnahme permanenten Charakter besitzt und nur durch eine mechanische Einwirkung wieder aufgehoben werden kann. Dagegen erstreckt sie sich nicht auf die Fälle spontaner Rückkehr des Anfangswiderstandes, sei es nun, dafs diese Rückkehr vollständig, oder, wie bei den von Bose untersuchten Radiokonduktoren, nur teilweise erfolgt. Um die Theorie von Eccles auch auf diese Fälle auszudehnen, müfste man ihre Grundlage erweitern. Es bedürfte hierzu der Annahme einer besonderen Elastizität, welche die durch das elektrische Feld abgelenkten Teilchen in ihre Anfangslage zurückzuführen strebt, und eines Reibungswiderstandes, welcher sich dieser Rückkehr widersetzt.

Es bleiben jedoch einige Tatsachen übrig, die weder mit der erweiterten Theorie von Eccles, noch mit den anderen im Vorstehenden geschilderten Theorieen zu vereinbaren sind. Eine solche Tatsache wurde von Shaw[59]) beobachtet. Dieselbe betrifft den

Widerstand an der Berührungsstelle zweier sich kreuzender Drähte. War dieser Widerstand durch die Einwirkung elektrischer Wellen herabgesetzt worden, so zeigte sich die vermehrte Leitfähigkeit auch dann noch, wenn die Wellen erloschen waren, die Drähte getrennt und aufs neue miteinander in Berührung gebracht wurden. Die Umkehrung des durch die Berührungsstelle fliefsenden Stromes begünstigte die Kohäsion zwischen den beiden Drähten. Zur Erklärung dieser Erscheinungen nimmt Shaw an, dafs die einander berührenden Teilchen der beiden Flächen eine Art von Orientierung erfahren, welche sich mehr oder weniger lange erhält und die Berührung zwischen den Teilchen intimer gestaltet. Vielleicht aber stehen die geschilderten Erscheinungen eher in Beziehung zu der von Guthe[49]) festgestellten Tatsache, dafs die Erwärmung eines der beiden Drähte, welche sich an einer Stelle berühren, an und für sich schon den Widerstand an der Berührungsstelle herabsetzt und dafs dieser nach dem Aufhören der Erwärmung rasch zu seinem Anfangswert zurückkehrt. Aber auch diese letztere Tatsache ist sogar als vorübergehende Erscheinung kaum mit den geschilderten Theorieen vereinbar. Nach Guthe selbst hätte freilich die von ihm beobachtete Tatsache an dem Verhalten der Radiokonduktoren nur einen untergeordneten und vorübergehenden Anteil.

Überblicken wir das Gesagte, so müssen wir bekennen, dafs von allen bis jetzt aufgestellten Theorieen keine einzige die Erscheinung der Radiokonduktoren vollständig zu erklären vermag. In jeder steckt vielleicht ein Kern von Wahrheit, aber jede hat den Fehler, dafs sie die Erscheinungen allzu einseitig und von einem zu speziellen Gesichtspunkte aus betrachtet. In Wirklichkeit stellen die Widerstandsänderungen der Radiokonduktoren einen viel zu komplizierten Vorgang dar, als dafs sie von einer einzigen Ursache abhängen sollten.

B. Dessau.

Literaturangaben.

[1]) Calzecchi-Onesti, Nuov. Cim., 3. Ser., Bd. 17, S. 38 [1885].
[2]) Auerbach, Wied. Ann. Bd. 28, S. 604 [1886].
[3]) Bidwell, Proc. Roy. Soc. Bd. 35, S. 1 [1883].
[4]) Mitgeteilt von Auerbach, Wied. Ann. Bd. 66, S. 760 [1898].
[5]) Edison, Nature Bd. 18, S. 368 [1878].
[6]) Engelmann und Krebs, Zeitschr. f. phys. u. chem. Unterr. Bd. 1, S. 170 [1898].

[7]) Beetz, Pogg. Ann. Bd. 111, S. 619 [1860].

[8]) du Moncel, Compt. rend. Bd. 81, S. 766 [1875].

[9]) Vincentini, La Lum. Elect. Bd. 49, S. 281 [1893].

[10]) Branly, Compt. rend. Bd. 120, S. 869 [1895]; Bd. 127, S. 219 [1898].

[11]) Dorn, Wied. Ann. Bd. 66, S. 146 [1898].

[12]) Salvioni, Nuov. Cim., Ser. 4, Bd. 6, S. 291 [1897].

[13]) Munck af Rosenschöld, Pogg. Ann. Bd. 43, S. 193 [1838].

[14]) S. Brief von Hughes an Fahie, publiziert in Fahie, History of Wireless Telegraphy, 1. Aufl., S. 289.

[15]) Calzecchi-Onesti, Nuov. Cim., Ser. 3, Bd. 16, S. 61 [1884]; Bd. 17, S. 38 [1885].

[16]) Die erste Arbeit Branlys erschien in den Compt. rend. Bd. 111, S. 785 [1890]; eine umfassendere Beschreibung seiner damaligen Versuche gibt der Autor im Eclairage El. Bd. 40, S. 301 u. 506 [1891]. Weitere Veröffentlichungen finden sich in Compt. rend. Bd. 112, S. 90 [1891]; Journ. de Phys. Bd. 1, S. 459 [1892]; Compt. rend. Bd. 118, S. 384 [1894]; Bd. 120, S. 869 [1895]; Bd. 125, S. 939 u. 1163 [1897]; Bd. 127, S. 219 u. 1206 [1898] und in verschiedenen Mitteilungen an die Société de Physique. Eine zusammenfassende Darstellung seiner Ergebnisse hat endlich der Autor selbst unter dem Titel „Les Radioconducteurs“ in den „Rapports au Congrès International de Physique Paris 1900“ veröffentlicht.

[17]) Lodge hat seine Versuche in dem Kapitel „Recent Progreſs“ der zweiten Auflage seines Buches „Modern Views of Electricity“ (London 1892), sowie in einem anderen Buche „The Work of Hertz and some of His Successors“ beschrieben. Eine zusammenfassende Geschichte des Kohärers wurde von Lodge im „Electrician“ (12. November 1897) veröffentlicht.

[18]) Boltzmann, Wied. Ann. Bd. 40, S. 399 [1890].

[19]) Aschkinaſs, Verhandl. d. Phys. Ges. Berlin Bd. 13, S. 103 [1894].

[20]) Wilsing und Scheiner, Brit. Ass. Rep. 1895, S. 1143.

[21]) Branly, Compt. rend. Bd. 118, S. 348 [1894].

[22]) Ders., La Lum. Electrique Bd. 51, S. 526 [1894].

[23]) Lhuillier, Compt. rend. Bd. 121, S. 345 [1895].

[24]) Dorn, Wied. Ann. Bd. 66, S. 146 [1898].

[25]) Branly, Compt. rend. Bd. 127, S. 1206 [1898].

[26]) Tommasina, Compt. rend. Bd. 127, S. 1014 [1898]; Bd. 129, S. 40 [1899].

[27]) Aschkinaſs, Wied. Ann. Bd. 66, S. 284 [1898].

[28]) Dorn, Ebenda Bd. 66, S. 146 [1898].

[29]) Blondel, L'Eclair. El. Bd. 16, S. 316 [1898].

[30]) Vicentini, Atti dell' Ist. Veneto Bd. 7, S. 228 [1896].

[31]) Appleyard, Phil. Mag. Ser. 5, Bd. 43, S. 374 [1897].

[32]) Campanile und Ciommo, L'Elettricità, März 1900.

[33]) Tommasina, Compt. rend. Bd. 127, S. 1014 [1898]; Bd. 129, S. 40 [1899]; Arch. des Sciences Ser. 4, Bd. 11, S. 557 [1901].

[34]) Sundorph, Wied. Ann. Bd. 68, S. 594 [1899].

[35]) Arons, Ebenda Bd. 65, S. 567 [1898].

[36]) van Gulik, Ebenda Bd. 66, S. 136 [1898].

[37]) Malagoli, L'Elettricità Bd. 7, S. 193 [1898]; Nuov. Cim. Bd. 8, S. 109 [1898].

[38]) Maclean, Phil. Mag. Ser. 5, Bd. 48, S. 115 [1899].
[39]) Aschkinafs, Wied. Ann. Bd. 66, S. 284 [1898].
[40]) Sundorph, Ebenda Bd. 68, S. 594 [1899].
[41]) Broca, Compt. rend. Bd. 128, S. 356 [1899].
[42]) Arons, Wied. Ann. Bd. 65, S. 567 [1898].
[43]) Branly, Bull. de la Soc. de Phys., April 1900.
[44]) Neugschwender, Wied. Ann. Bd. 67, S. 430; Bd. 68, S. 92 [1899]. Phys. Zeitschr. Bd. 2, S. 550 [1901].
[45]) Aschkinafs, Wied. Ann. Bd. 67, S. 842 [1899].
[46]) Marx, Phys. Zeitschr. Bd. 2, S. 249 u. 574 [1901].
[47]) Sundorph, Wied. Ann. Bd. 69, S. 319 [1899].
[48]) Bose, Electrician Bd. 43, S. 441 [1899]; Bd. 44, S. 626 u. 649 [1900].
[49]) Guthe, Drudes Ann. Bd. 1, S. 762 [1901].
[50]) Mizuno, Phil. Mag. Ser. 5, Bd. 50, S. 445 [1900].
[51]) van Gulik, Wied. Ann. Bd. 66, S. 137 [1898].
[52]) Trowbridge, Amer. Journ. of Science Ser. 4, Bd. 8, S. 199 [1899].
[53]) Guthe u. Trowbridge, Phys. Rev. Bd. 11, S. 22 [1900].
[54]) Blondel u. Dobkevitsch, Compt. rend. Bd. 130, S. 1123 [1900].
[55]) Eccles, Electrician Bd. 47, S. 682 u. 715 [1901].
[56]) Bose, Ebenda Bd. 47, S. 830 u. 877 [1901].
[57]) Auerbach, Wied. Ann. Bd. 64, S. 611 [1898].
[58]) Ferrié, L'Eclair. El. Bd. 24, S. 499 [1901].
[59]) Shaw, Phil. Mag. Ser. 6, Bd. 1, S. 265 [1901].

Dritter Teil.

Die elektrische Telegraphie ohne Draht.

Erstes Kapitel.

Telegraphie durch Leitung, durch elektrostatische Influenz und durch Induktion.

42. Telegraphie durch Leitung.

Im Jahre 1833 verbanden Gaufs und Weber die Sternwarte und das physikalische Kabinett in Göttingen durch zwei Leitungsdrähte und riefen vermittelst eines elektrischen Stromes, der in einem der beiden Gebäude erzeugt wurde, Ablenkungen eines in dem anderen aufgehängten Magnetstabes hervor. Die Periode der schüchternen Versuche und phantastischen Vorschläge war damit abgeschlossen, und die elektrische Telegraphie trat in die Reihe der modernen Verkehrsmittel ein. Einige Jahre später setzte der Amerikaner Morse an Stelle der Ablenkung eines Magneten die Anziehung eines Ankers von seiten eines durch den Strom erregten Elektromagneten, und es dauerte nicht lange, so hatte der von ihm geschaffene Apparat seine Rivalen verdrängt und hatte sich in der elektrischen Telegraphie jene dominierende Stellung erobert, die ihm bis heute unbestritten geblieben ist. Statt der grofsen Zahl von Leitungsdrähten, deren die meisten früheren Konstruktionen bedurft hatten, begnügten sich sowohl Gaufs und Weber wie auch Morse mit je einem Draht für die Hin- und Rückleitung des Stromes. Aber wie jeder Fortschritt alsbald zur Quelle neuen Strebens wird, so tauchte auch schon damals der Wunsch auf, das junge Verkehrsmittel ganz und gar von den Fesseln einer nur für seine Zwecke bestimmten metallischen Leitung befreit zu sehen.

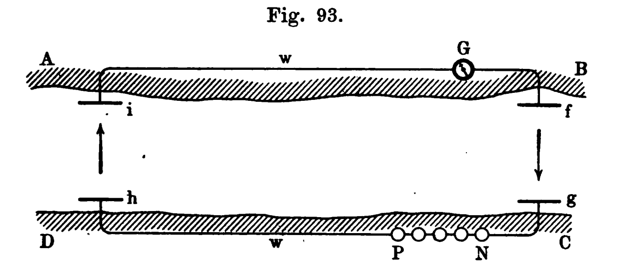
So wollte im Jahre 1838 C. A. Steinheil auf eine Anregung von Gaufs hin die Schienen der Eisenbahnen, die gerade von England ihren Weg nach dem Kontinent gefunden hatten, zur Übertragung der Telegraphenströme benutzen. Sein Versuch scheiterte zwar, weil es sich als unmöglich herausstellte, die Schienen hinreichend zu isolieren, um den Übergang des Stromes von einer Schiene zur anderen durch das Erdreich zu verhindern; dafür aber wurde Steinheil durch seine Experimente zur Entdeckung der Erdleitung geführt, die einen der wichtigsten praktischen Fortschritte im Gebiete der Telegraphie bezeichnet. Denn nunmehr wurde es möglich, mit nur einem einzigen Leitungsdrahte zu telegraphieren und zur Rückleitung des Stromes das Erdreich zu benutzen. Nicht zufrieden jedoch mit dem grofsen Schritt, der ihm gelungen, fährt Steinheil in dem Berichte über seine Versuche[1]) folgendermafsen fort:

„Es schien von besonderem Interesse, zu untersuchen, nach welchen Gesetzen der Verteilung der galvanische Strom das Erdreich beim Durchgange erregt; denn dieses ist eine unbegrenzte Masse. Die galvanische Erregung mufs also nicht nur die zwischen den zwei Enden des Drahtes befindlichen Erdteile treffen sondern sich ins Unbegrenzte hinaus erstrecken, und nur von dem Gesetze, in welchem die Erregung des Bodens zum Abstand von den erregenden Drahtenden steht, hing es jetzt ab, ob man überhaupt einer Verbindungskette zum Telegraphieren bedarf. Ich kann hier nur kurz anführen, dafs ich Mittel gefunden habe, dieses Gesetz aus der Erscheinung durch Versuche abzuleiten. Es ergibt sich, dafs die Erregung rasch abnimmt, wenn die Abstände von den erregenden Drahtenden wachsen. Man kann zwar Apparate machen, wo der Induktor, metallisch völlig getrennt von einem Multiplikator, einzig allein durch die Erregung des Erdbodens in dem Multiplikator Ströme erzeugt, die sichtbare Ablenkungen bewirken; eine Erscheinung, die neu ist und zu den wundervollsten im Gebiete der Wissenschaft gehört; aber dieses gilt nur für kleine Abstände. Wir müssen es der Zukunft überlassen, ob es je gelingen wird, auf grofse Distanzen hin ganz ohne metallische Verbindung zu telegraphieren. Für kleinere Entfernungen bis zu 50 Fufs habe ich die Möglichkeit durch Versuche nachgewiesen. Für grofse Abstände ist es blofs denkbar durch Vermehrung der galvanischen Induktionskräfte oder durch besondere, dem Zweck entsprechende Multiplikatorkonstruktionen, oder endlich durch Er-

weiterung der Berührungsflächen der Multiplikatorenden. Jedenfalls aber dürfte diese Erscheinung einer besonderen Aufmerksamkeit würdig sein und vielleicht nicht ohne Einfluſs auf die theoretische Ansicht der galvanischen Erscheinungen bleiben.“

Einige Jahre später wurde auch Morse[2]) auf das Problem der Übermittelung telegraphischer Nachrichten ohne zusammenhängende metallische Leitung geführt. Veranlassung dazu bot die Beschädigung einer Telegraphenleitung. Der Erfinder selbst berichtet darüber folgendes: „Im Herbst 1842 hatte ich es auf Einladung des American Institute übernommen, die Brauchbarkeit meines Telegraphen in Neuyork öffentlich zu demonstrieren. Es handelte sich darum, Governors Island mit dem eine Meile entfernten Castle Garden in Verbindung zu setzen, und ich hatte zu diesem Zwecke meine entsprechend isolierten Drähte unter Wasser verlegt. Kaum jedoch hatten die Versuche begonnen — es waren erst zwei oder drei Buchstaben eingetroffen — so wurden meine Absichten durch die Zerstörung eines meiner Leitungsdrähte vereitelt; ein Schiff hatte denselben mit seinem Anker heraufgezogen und er wurde durchschnitten. Gleich nachdem der erste Schreck vorüber war, faſste ich einen Plan, um in Zukunft derartigen Unfällen vorzubeugen; die Drähte sollten längs der Ufer des Flusses

Fig. 93.



verlegt werden, und das Wasser sollte die Elektrizität von einem Ufer zum anderen leiten. Die Ausführung wurde indessen bis nach meiner Ankunft in Washington verschoben; am 16. Dezember stellte ich mit meinem System einen Versuch zur Übertragung durch den Kanal an und erzielte einen vollständigen Erfolg. Es wurde die einfache Tatsache festgestellt, daſs die Elektrizität einen Fluſs zu überschreiten vermag, ohne daſs hierzu andere Leiter als das Wasser selbst erforderlich sind.“

In gröſserem Maſsstabe wiederholte Morse seine Versuche im Jahre 1844. Die Anordnung derselben war die in Fig. 93 dar-

gestellte. *AB* und *CD* sind die Ufer des Flusses, *NP* ist die Batterie, *G* ein Galvanometer, *ww* sind längs des Flusses ausgespannte Drähte, die mit den ins Wasser versenkten Kupferplatten *fghi* in Verbindung stehen. Nach Morse bewegte sich die durch die Batterie erzeugte Elektrizität von dem positiven Pol *P* zur Platte *h*, von dieser aus durch den 80 Fuſs breiten Kanal zur Platte *i* und durch die Windung des Galvanometers, um dann zur Platte *f* und von dieser aus wiederum durch das Wasser zur Platte *h* zu gelangen und endlich beim negativen Pole *N* der Batterie ihren Kreislauf zu vollenden. Die Versuche wurden mit verschiedenen Drahtlängen an den Ufern des Kanals angestellt, und die Zahl der Elemente, aus welchen die Batterie zusammengesetzt wurde, war bei den verschiedenen Versuchen verschieden groſs. Es ergab sich, daſs die Elektrizitätsmenge, welche von einem Ufer des Flusses zum anderen gelangte, in direktem Verhältnis zur Gröſse der Platten stand, dabei aber von der Entfernung zwischen den an einem und demselben Ufer befindlichen Platten abhängig war. Nach Morses Erfahrungen sollte diese Entfernung das Dreifache der Breite des zu überschreitenden Flusses betragen; eine weitere Vergröſserung der Entfernung zwischen den Platten auf derselben Seite sollte keinen Vorteil bringen.

Ähnliche Versuche wie Morse nahm im Jahre 1845 Wilkins in England vor. Auch diese waren von Erfolg gekrönt, aber Wilkins verdankte denselben anscheinend weniger einer Leitung durch das Wasser als der elektromagnetischen Induktion zwischen den an den beiden Ufern ausgespannten Drähten. Weitere Versuche stellte in den Jahren 1853 und 1854 Lindsay an; diesem gelang es, über den Tayfluſs, auf eine Entfernung von mehr als einer englischen Meile, Zeichen zu senden. Mit der gleichen Aufgabe befaſsten sich ferner um diese Zeit in Italien Bonelli, in Österreich Gintl, in Frankreich Bouchot und Douat; über den Erfolg ihrer Versuche ist jedoch nichts Bestimmtes bekannt. H. Highton, dessen Versuche im Jahre 1852 begonnen wurden und einen Zeitraum von 20 Jahren umfassen, schlug zur Übermittelung von Nachrichten zwischen zwei durch Wasser voneinander getrennten Orten drei verschiedene Verfahren vor. Das eine derselben unterscheidet sich nicht von dem bereits von Morse angewendeten: zu beiden Seiten des Flusses sollten Drähte ausgespannt und Metallplatten sollten in das Wasser versenkt und mit den Drähten verbunden werden. Oder es sollten zu beiden

Seiten des Flusses Drähte ausgespannt und die einander gegenüberstehenden Enden derselben durch nicht isolierte, in das Wasser versenkte Drähte miteinander in Verbindung gebracht werden. In gewissen Fällen endlich sollte auch diese doppelte Leitung durch das Wasser entbehrlich sein und ein einfacher, unvollkommen isolierter Draht genügen, wobei das Wasser die Rückkehr des Stromes vermitteln würde. Für die meisten Fälle hielt Highton das zweite von diesen Verfahren für das geeignetste. In der Tat wurde dasselbe von den englischen Telegrapheningenieuren in Indien praktisch angewendet und zur Überbrückung der vielen breiten Ströme dieses Landes wohl geeignet befunden, vorausgesetzt, daſs die beiden in das Wasser versenkten Drähte genügend weit voneinander entfernt waren.

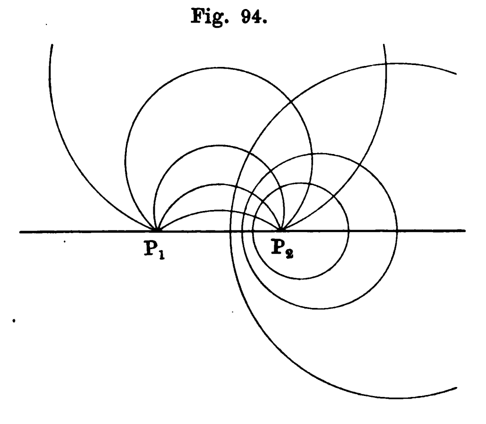
Nicht unerwähnt mag bleiben, daſs im Jahre 1870 während der Belagerung von Paris, als in der eingeschlossenen Stadt alle Mittel aufgeboten wurden, um über die Köpfe der Belagerer hinweg eine Verbindung mit den auſserhalb operierenden französischen Truppen herzustellen, Bourbouze den Vorschlag machte, an einer geeigneten Stelle auſserhalb der Belagerungszone starke Ströme in die Seine zu senden und dieselben innerhalb der Stadt durch Eintauchen von Metallplatten in den Fluſs abzufangen und einem empfindlichen Galvanometer zuzuführen. Da vorläufige Versuche dem Plane günstig schienen, verlieſs D'Almeida in einem Ballon die belagerte Stadt, um die Sache ins Werk zu setzen. Zur Ausführung kam es jedoch nicht, weil inzwischen die Übergabe der Stadt erfolgte. Einige Jahre später nahm Bourbouze seine Versuche wieder auf. Über den Erfolg derselben ist nichts Sicheres bekannt geworden.

Sehen wir von den besonderen Verhältnissen ab, für welche der Plan von Bourbouze ursprünglich bestimmt war, so hatten die Vorschläge und Versuche, welche wir bis jetzt kennen gelernt haben, ihre Veranlassung vor allem in den hohen Kosten und den technischen Schwierigkeiten, mit denen die Herstellung gut isolierter und gegen äuſsere Angriffe geschützter Unterwasserkabel damals zu kämpfen hatte, sowie in den Hindernissen, die sich bei zufälligen Beschädigungen einer raschen Reparatur entgegenstellten. Und wenngleich die geschilderten Verfahren noch vor etwa zehn Jahren von Melhuish empfohlen wurden, so bot doch die Telegraphie vermittelst zusammenhängender Leiter so offenkundige Vorzüge, daſs man nicht zögerte, die älteren Verfahren zu ver-

lassen, nachdem die Kabelfabrikation die ihr gestellte Aufgabe in befriedigender Weise gelöst hatte. Immerhin gibt es Fälle, in welchen eine zusammenhängende Leitung ausgeschlossen, eine telegraphische Verbindung aber gleichwohl notwendig oder doch von erheblichem Vorteil ist. Hierher gehört z. B. die Verbindung von fahrenden Eisenbahnzügen mit den Stationen, von Schiffen untereinander oder mit der Küste. Mit der ersten von diesen Aufgaben hat man sich namentlich in Amerika befafst; auf die zweite wurde man durch die beständig wachsenden Ansprüche der Schiffahrt vor allem in England gelenkt, zumal damit noch die andere, nicht minder wichtige Aufgabe der telegraphischen Verbindung zwischen den Küsten und den oft auf felsigen Inseln gelegenen Leuchttürmen unmittelbar verknüpft war. Auch hierfür sind nämlich die gewöhnlichen Kabel nur schlecht geeignet, weil selbst die beste Armierung gegen die rasche Zerstörung durch den beständigen Wellenschlag an die Felsen nicht zu schützen vermag. Wir werden weiterhin erfahren, auf welche Weise man in Amerika und in England die geschilderten Aufgaben mit Hilfe der Induktion zwischen geschlossenen oder offenen Stromkreisen zu lösen gesucht hat; an dieser Stelle interessieren uns zunächst die Versuche, die im Jahre 1894 auf Veranlassung des deutschen Reichsmarineamtes von W. und E. Rathenau in Gemeinschaft mit H. Rubens[3]) vorgenommen wurden, um die Möglichkeit einer telegraphischen Verbindung vermittelst Leitung durch das Wasser zu prüfen. Im Prinzip unterschied sich die Anordnung dieser Versuche nicht wesentlich von derjenigen der beiden Plattenpaare Morses; dennoch wurden ungleich bessere Ergebnisse erzielt, teils weil mit vollkommeneren technischen Hilfsmitteln gearbeitet wurde und zum nicht geringen Teile auch, weil den neueren Versuchen eine richtigere Auffassung von dem Mechanismus des Stromüberganges zwischen zwei mit einer Stromquelle verbundenen und in einen homogenen unbegrenzten Leiter eingetauchten Platten zu Grunde gelegt werden konnte. Zwischen den beiden Platten, die mit den Polen einer Batterie in Verbindung stehen und deshalb sich auf verschiedenem Potential befinden, besteht nämlich ein elektrisches Feld, das durch Linien oder Flächen gleichen Potentials, die sogenannten Niveaulinien oder -flächen, charakterisiert ist. Längs dieser Flächen oder Linien findet überhaupt keine Bewegung der Elektrizität statt; die elektrische Kraft, die allenthalben normal zu diesen Flächen gerichtet ist, setzt die Elektrizität längs gewisser

Linien in Bewegung, die Stromlinien heifsen und dadurch gekennzeichnet sind, dafs sie sämtlich auf einer Platte beginnen und auf der anderen endigen. Diese Stromlinien nebst einem Durchschnitt durch die Niveauflächen sind in Fig. 94 dargestellt; wie man sieht, liegen die ersteren in der Nähe der Geraden, welche die beiden an den Stellen P_1 und P_2 befindlichen Platten miteinander verbindet, sehr dicht beieinander und rücken an den von der Verbindungslinie entfernten Stellen immer weiter voneinander; einen ähnlichen Charakter zeigen auch die Niveauflächen. Werden nun an zwei Stellen, die eine beliebige Lage haben können, wenn sie nur nicht der gleichen Niveaufläche angehören, zwei weitere leitende Platten in den homogenen Leiter, also hier in das Wasser, eingetaucht, so besteht zwischen denselben eine Potentialdifferenz, und in einem Drahte, der die Platten aufserhalb des Wassers verbindet, mufs deshalb ein elektrischer Strom zirkulieren. Im allgemeinen wird allerdings durch das Eintauchen der mit einem Draht verbundenen Platten die Gestalt und Verteilung der Stromlinien und Niveauflächen innerhalb des Wassers eine Änderung erfahren; doch brauchen wir für den Zweck, um welchen es sich an dieser Stelle handelt, hierauf nicht näher einzugehen. Für uns ist wichtig, dafs in dem die beiden Platten miteinander verbindenden Drahte ein abgeleiteter Strom auftritt, der sich mit Hilfe eines empfindlichen Galvanometers nachweisen läfst. Vorteilhafter jedoch bedient man sich hierzu des Telephons, welches an Empfindlichkeit dem Galvanometer kaum nachsteht und für die praktische Anwendung besser geeignet ist; nur mufs in diesem Falle, da das Telephon nur dann einen Ton von sich gibt, wenn seine Membran durch rasche Stromänderungen in Schwingungen versetzt wird, auch der durch die ersten beiden Platten dem Wasser zugeführte Strom ein Wechselstrom oder ein in rascher Folge unterbrochener Gleichstrom sein. Letzteren wählten Rathenau und Rubens bei ihren Versuchen, deren Anordnung aus Fig. 95 (a. f. S.) ersichtlich ist. Die Primärlinie,

Fig. 94.



welche dem Wasser den Strom zuführte, enthielt eine Akkumulatorenbatterie *AB*, einen Unterbrecher *SU*, der durch einen elektrischen Motor in Bewegung gesetzt wurde und den Strom zu einem intermittierenden machte, ferner einen veränderlichen Widerstand *W*, Ampèremeter *AA* und Voltmeter *VM*, sowie endlich einen Telegraphentaster *TT*; die Linie endigte in zwei Zinkplatten *EP* von je 15 qm Oberfläche, die in einiger Entfernung von dem Ufer, an welchem die Apparate aufgestellt waren, in das Wasser versenkt wurden. Von zwei Booten aus, deren Entfernung voneinander bei den Versuchen zwischen 50 und 300 m variierte, wurden zwei weitere Zinkplatten $E_1 P_1$ von je 4 qm Oberfläche in das Wasser versenkt; dieselben waren aufserhalb des Wassers durch einen Draht miteinander verbunden, in den ein Telephon eingeschaltet war. Die Versuche fanden in der Nähe von Potsdam auf dem Wannsee statt; die Sendestation (Fig. 96 a. f. S.), mit einem Abstand von 500 m zwischen den beiden Platten *EP*, befand sich bei der elektrischen Zentrale von Alsen; die Empfangsstation wurde zuerst auf offenem Wasser immer weiter von der Sendestation verlegt, bis zu der mit 1 bezeichneten Stelle, deren Entfernung von der Sendestation 4,5 km beträgt, dann brachte

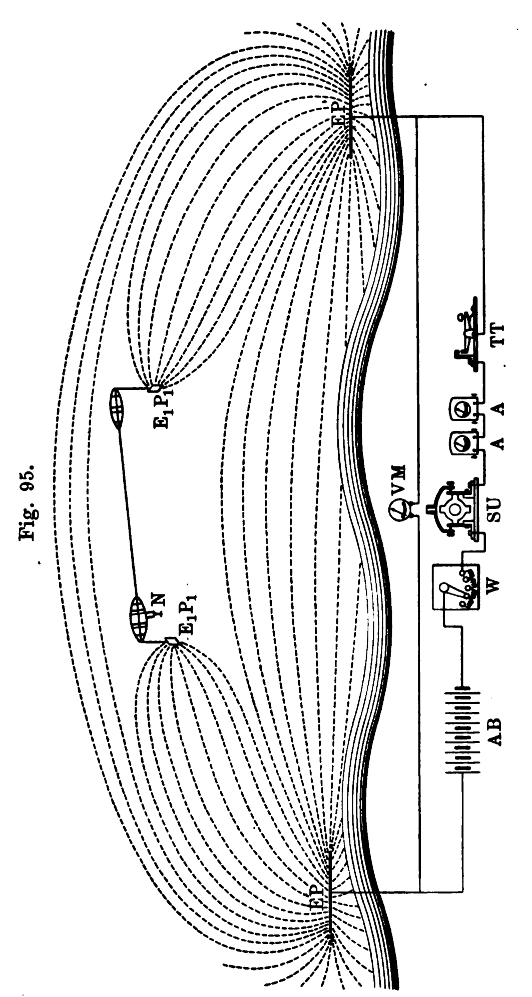
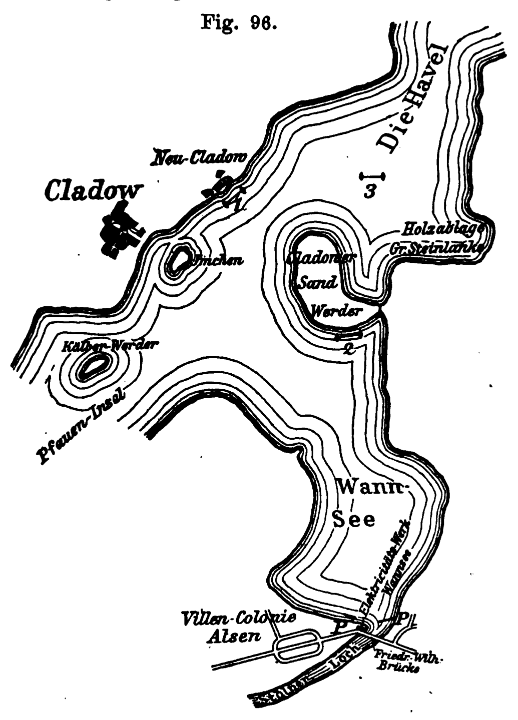


Fig. 95.

man sie an die mit 2 und 3 bezeichneten Stellen, von welchen sich die eine vor, die andere hinter einer kleinen, vom Festlande nur durch einen engen und seichten Kanal getrennten Insel befand. Es stand nur ein Primärstrom von 3 Ampère Intensität zur Verfügung, und derselbe konnte nur 150 mal pro Sekunde unterbrochen werden, während die Empfindlichkeit des Telephons für eine Frequenz von etwa 600 Impulsen in der Sekunde am gröfsten ist. Trotz dieser ungünstigen Verhältnisse waren die übermittelten

Fig. 96.



Signale noch bis zu der gröfsten vorhandenen Entfernung von 4,5 km auch für ein ungeübtes Ohr deutlich vernehmbar. Auch wenn sich die Empfangsstation an der mit 3 bezeichneten Stelle befand, so dafs die gerade Verbindung mit der Sendestation durch die Insel unterbrochen war, wurde die Deutlichkeit der Übertragung nicht merklich beeinträchtigt. Mit stärkeren Strömen im Primärkreise oder einem gröfseren Abstande zwischen den Sendeplatten, sowie durch raschere Unterbrechungen oder eine gröfsere Wechselzahl des Primärstromes, endlich durch Benutzung eines empfindlicheren, auf die Wechselzahl des Primärstromes abge-

stimmten Telephonempfängers hätten sich ohne Zweifel noch günstigere Ergebnisse erzielen lassen.

Ähnlich wie im Wasser, so findet auch in feuchtem und sogar in trockenem Erdreich, wenn man in dasselbe zwei mit den Polen einer Elektrizitätsquelle verbundene Leiter einführt, eine Ausbreitung elektrischer Ströme statt. Es braucht nur daran erinnert zu werden, wie häufig telegraphische Signale, die auf einer Linie abgegeben werden, sich gleichzeitig auch auf anderen Linien bemerkbar machen und den Verkehr auf diesen in empfindlicher Weise stören, ohne dafs nach Lage der Verhältnisse die Induktion zwischen den beiden Linien hierfür verantwortlich gemacht werden könnte. Es lag darum nahe, die Ausbreitung der Ströme auch im festen Erdreich im Hinblick auf die Möglichkeit einer drahtlosen Telegraphie innerhalb der Kontinente eingehend zu untersuchen. Diesbezügliche Versuche, die sich eng an die geschilderten Experimente von Rathenau und Rubens anschliefsen, wurden von Strecker[4]) vorgenommen. Auch diesmal ergab es sich, dafs die Entfernung, auf welche Signale übertragen werden konnten, mit der Intensität des Primärstromes, und zwar anscheinend proportional zu dieser, und ebenso mit dem Abstand zwischen den Erdplatten sowohl der Sende- wie der Empfangslinie zunahm; die besten Resultate wurden erhalten, wenn die beiden Leitungen senkrecht zu der Geraden angeordnet waren, die man sich von der Mitte der einen zur Mitte der anderen gezogen denken kann. Strecker erhielt wahrnehmbare Zeichen bis auf eine Entfernung von 17 km zwischen den beiden Linien; seine Resultate waren also den von anderen Experimentatoren erzielten weit überlegen. Dazu bedurfte es aber einer 3 km langen Primärleitung und einer 1,2 km langen Sekundärleitung, sowie eines Sendestromes von 14 bis 19 Ampère Intensität. Schon diese Bedingungen wären in der Praxis schwer zu erfüllen; um noch gröfsere Entfernungen überbrücken zu können, hätte man wahrscheinlich wenigstens den einen der obigen Faktoren, d. h. die Länge einer der beiden Leitungen oder die Stärke des Sendestromes ganz unverhältnismäfsig vergröfsern müssen. Es ist darum begreiflich, dafs die Versuche damals nicht fortgesetzt wurden.

Neuerdings jedoch sind Orling und Armstrong[5]) mit einem System der drahtlosen Telegraphie hervorgetreten, welches, soweit sich aus den spärlichen bis jetzt darüber vorliegenden Mitteilungen entnehmen läfst, ebenfalls die Leitung durch den Erdboden oder

das Wasser zu Hilfe nimmt. Den Hauptbestandteil der Erfindung bildet ein Apparat, der nach Art eines Telegraphenrelais den Stromkreis eines Telegraphenempfängers oder einer anderen, durch stärkere Ströme betätigten Vorrichtung zu schliefsen hat; dieser Apparat selbst mufs seiner Aufgabe gemäfs schon auf überaus schwache Ströme ansprechen. Derselbe gründet sich auf die Beobachtung, dafs in einer hinreichend engen, von einem Ende zum anderen sich trichterförmig erweiternden Röhre, von der ein Teil mit Quecksilber, der Rest mit Schwefelsäure angefüllt ist, beim Übertritt eines elektrischen Stromes vom Quecksilber zur Schwefelsäure oder umgekehrt, die Berührungsfläche zwischen den beiden Flüssigkeiten sich im Sinne der Stromrichtung zu verschieben strebt. Diese Erscheinung, die ihre Ursache in einer Veränderung der Kapillarität des Quecksilbers hat, ist seit lange bekannt und war sogar bereits zur Konstruktion eines Elektrometers verwendet worden, welches überaus geringe Potentialdifferenzen zu messen gestattet. Der Apparat von Orling und Armstrong

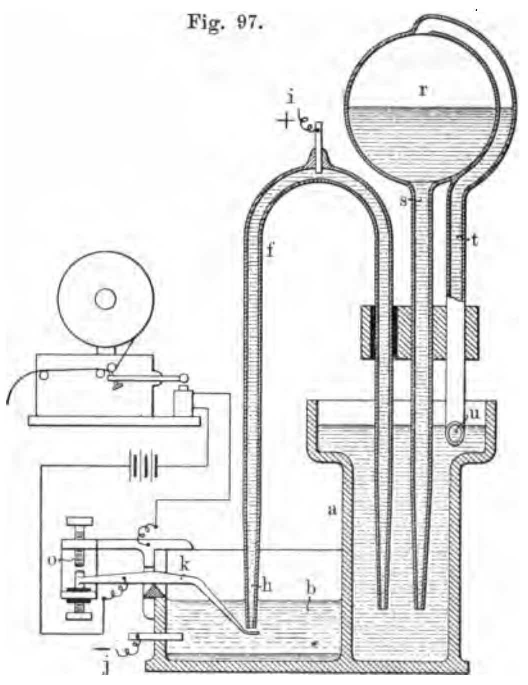


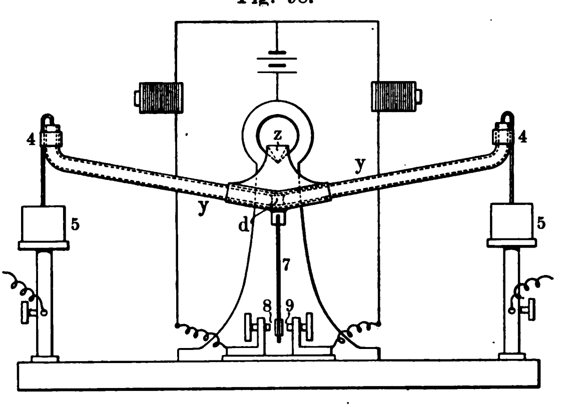
Fig. 97.

(Fig. 97) hat als wichtigsten Bestandteil einen mit Quecksilber gefüllten Heber *f*, dessen kürzerer Schenkel in dem Behälter *a* in Quecksilber taucht; der längere Schenkel, der in dem Behälter *b* unter Schwefelsäure endigt, ist zu einer feinen Spitze ausgezogen. Dadurch wird verhindert, dafs der Heber in Tätigkeit tritt und das Quecksilber aus dem Behälter *a* nach *b* fliefst. Wird dagegen zwischen den beiden Kontakten *i* und *j*, von welchen der eine zu dem Quecksilber im Heber, der andere zu der Säure im Behälter *b* führt, eine Potentialdifferenz in der Richtung erzeugt,

dafs *i* eine positive Ladung annimmt, so tritt das Quecksilber, das vorher eben bis an die Spitze des Hebers gereicht hatte, aus dieser heraus und fällt in kleinen Tropfen auf den Hebel *k*. Dieser gerät dadurch in Bewegung und stellt bei *o* einen Kontakt her, welcher den Stromkreis einer Batterie und eines Telegraphenempfängers schliefst. Eine Art von Mariottescher Flasche erhält das Quecksilber in *a* auf konstanter Höhe.

Ein anderer Apparat von Orling und Armstrong, der auf dem gleichen Prinzip beruht, ist in Fig. 98 abgebildet. Ein enges Glasrohr *y*, welches zu einem stumpfen Winkel mit nach oben gerichteten Schenkeln gebogen ist, ruht nach Art eines Wagebalkens auf einer Schneide. An der tiefsten Stelle des Glasrohres befindet sich ein Tropfen Schwefelsäure; die beiden Schenkel sind mit Quecksilber gefüllt, welches durch die mit 4 4 bezeichneten

Fig. 98.



Drähte, die zu den Quecksilbernäpfen 5 5 führen, in einen Stromkreis eingeschaltet ist. Wird zwischen den Näpfen 5 5 eine Potentialdifferenz erzeugt, so verschiebt sich der zwischen den beiden Quecksilbermenisken im Rohre *y* eingeschlossene Säuretropfen nach der einen Seite; das Gleichgewicht des Wagebalkens wird gestört, derselbe neigt sich nach der Seite und die Zunge 7 tritt mit einem der Kontakte 8 oder 9 in Berührung, wodurch ein Lokalstromkreis geschlossen wird.

Um diese Apparate zu benutzen, führt man zwei Metallstangen, welche mit den beiden Quecksilbermassen leitend verbunden sind, in den Erdboden ein; auf der Sendestation werden ebenfalls zwei Leiter, die mit einer Elektrizitätsquelle in Verbindung stehen, in den Erdboden versenkt. Der Vorgang ist also im Grunde derselbe

wie bei den Versuchen von Rathenau und Rubens; nur schreiben Orling und Armstrong ihrem Relais eine gröſsere Empfindlichkeit zu, welche die Anwendung schwächerer Ströme oder, bei gleicher Stromintensität, die Überbrückung gröſserer Entfernungen gestattet. In der Tat soll es den Erfindern gelungen sein, bis auf 35 km Signale zu übermitteln; für gröſsere Entfernungen sollen Relais zu Hilfe genommen werden, die an geeigneten Zwischenstationen Aufstellung finden und deren Aufgabe darin besteht, den Stromkreis einer anderen Batterie zu schlieſsen, die kräftig genug ist, um auf das nächstfolgende Relais einzuwirken. Bei den ersten Versuchen haben sich die geschilderten Apparate angeblich vollkommen bewährt; in der Praxis jedoch wird höchst wahrscheinlich gerade die groſse Empfindlichkeit des Relais zu häufigen Störungen durch die im Boden vagabundierenden Ströme Veranlassung geben.

Auf der Leitfähigkeit des Erdbodens beruhen endlich auch die Versuche über drahtlose Telephonie, die letzthin Ducretet[6]) in Paris angestellt hat. Der Sendeapparat bestand aus einer Batterie von galvanischen Elementen oder Akkumulatoren, einem Mikrophon und zwei Leitern, die mit diesen Apparaten in Verbindung standen und einige Meter voneinander entfernt anderthalb Meter tief in den Boden hineingesteckt wurden. Für die Empfangsstation wurde der 18 m tiefe Schacht eines Steinbruchs benutzt, von dem eine Verbindung zu den Katakomben führte; von der Erdoberfläche bis zu 4 m Tiefe war der Schacht mit einer guſseisernen Röhre ausgekleidet. Mit Hilfe einer Metallkugel, die an einem isolierten Draht hing und auf den Grund des Schachtes herabgelassen wurde, stellte man mit dem Boden der Katakombe eine Verbindung her. Ein gewöhnliches Hörtelephon, das zwischen das obere Ende des Drahtes und die guſseiserne Röhre eingeschaltet wurde, gab die auf der Sendestation in das Mikrophon gesprochenen Worte deutlich wieder. Zog man den Draht so weit in die Höhe, daſs die Kugel den Grund des Schachtes nicht mehr berührte, so hörte alsbald die Übertragung vollständig auf. Eine so groſse Tiefe wie diejenige, bis zu welcher bei diesen Versuchen der eine der Leiter des Empfängerkreises hinabgelassen wurde, ist zwar nicht notwendig, aber immerhin von Vorteil, denn sie schlieſst die Erdströme aus, die bei den früher erwähnten Versuchen von Bourbouze die Galvanometernadel auch dann abgelenkt hatten, wenn der Sendestromkreis nicht geschlossen war. Selbst die Nachbarschaft einer Wechselstromzentrale verursachte keine Störung; überhaupt

fehlten die Geräusche vollständig, welche bei den gewöhnlichen Telephonleitungen so häufig die Verständigung erschweren. Wie es heifst, sollen die Versuche in gröfserem Umfang fortgesetzt werden; trotz des bisher Erreichten ist es nicht wahrscheinlich, dafs dieselben zu praktischen Ergebnissen führen werden.

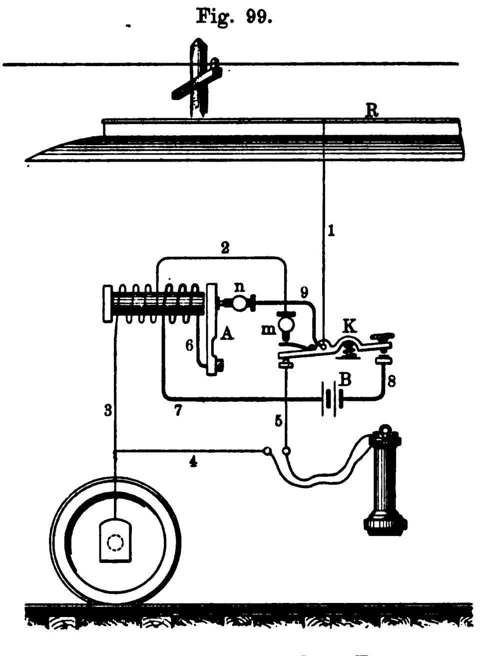
43. Telegraphie durch Induktion und durch Influenz.

Im ersten Teile dieses Buches haben wir die Gesetze der Entstehung induzierter Ströme kennen gelernt. Wir sahen dort, dafs ein derartiger Strom immer dann in einem Leiter auftritt, wenn in der Nähe desselben die Stärke eines elektrischen Stromes zunimmt oder abnimmt oder wenn die Entfernung zwischen dem Leiter und einem benachbarten, von einem Strome durchflossenen Draht geändert wird. Der induzierte Strom dauert nur so lange, wie die Ortsveränderung oder die Änderung der Intensität des induzierenden Stromes anhält. Schon unmittelbar nach ihrer Entdeckung fand die Erscheinung der Induktion mannigfache Anwendungen. Um starke Wirkungen zu bekommen, sucht man im allgemeinen die beiden Stromkreise einander so nahe als möglich zu bringen; bekanntlich findet aber die Induktion, wenn auch mit verminderter Stärke, selbst dann noch statt, wenn die beiden Stromkreise weit voneinander entfernt sind. Dies benutzte schon im Jahre 1880 Prof. Trowbridge in Cambridge (Vereinigte Staaten). Er verband nämlich das bei Cambridge gelegene Observatorium mit der Stadt durch eine Leitung, in welcher ein Strom zirkulierte, der durch eine auf dem Observatorium aufgestellte Uhr in regelmäfsigen Intervallen unterbrochen wurde; es gelang nun, diese Signale auf eine 150 bis 180 m lange Leitung zu übertragen, die von der ersteren ungefähr 1600 m weit entfernt war. Auf Grund der gleichen Erscheinung wurden in den darauffolgenden Jahren von C. A. Brown[7]), von Willoughby Smith[8]), von Phelps und von Edison in Gemeinschaft mit Gilliland Systeme ausgearbeitet, um die fahrenden Eisenbahnzüge mit den Stationen in telegraphische Verbindung zu setzen.

Nach dem System von Phelps wurde längs der ganzen Eisenbahnlinie zwischen die Schienen eine isolierte Leitung gelegt, welche auf den Stationen mit telegraphischen Sende- und Empfangsapparaten in Verbindung stand; unter den Eisenbahnwagen waren mehrfach gewundene Drahtrechtecke angebracht, deren Enden in den Wagen zu ebensolchen Apparaten führten. Zum Sendeapparat

gehörte aufser einer Batterie und einem Telegraphentaster auch ein automatischer Unterbrecher, der von selbst in Tätigkeit trat, sobald der Taster niedergedrückt wurde. In die Leitung gelangte dann ein intermittierender, das heifst aus einer raschen Folge einzelner Impulse zusammengesetzter Strom, der in dem Drahtrechteck unterhalb des Wagens eine ähnliche Folge von induzierten Strömen erweckte. Die Platte des Telephons, welches als Empfangsapparat mit den Enden des Drahtrechtecks verbunden war, wurde durch diese Ströme in Schwingungen versetzt und bekundete durch die Höhe der Töne den Rhythmus der Tätigkeit des automatischen Unterbrechers, sowie durch die Länge derselben die Dauer der durch den Telegraphentaster bewirkten Stromschliefsungen. Anstatt des Telephons konnte mit dem Drahtrechteck auch ein geeignetes Relais verbunden werden, welches den Stromkreis eines Morseapparats schlofs und dadurch die von der Sendestation abgegebenen Signale in Form der Schriftzeichen des gewöhnlichen Telegraphenalphabets wiedergab. Ganz auf dieselbe Weise wie von den Stationen nach den Zügen konnte auch umgekehrt, wenn sowohl die einen wie die anderen mit Sende- und Empfangsapparaten ausgerüstet waren, von den Zügen aus nach einer beliebigen Station telegraphiert werden.

Fig. 99.



Von dem beschriebenen System weicht dasjenige, auf welches Edison und Gilliland im Jahre 1885 ein Patent erhielten, in einigen Punkten ab. Statt eines besonderen, zwischen die Schienen verlegten Drahtes bedienten sich Edison und Gilliland der gewöhnlichen, längs der Eisenbahnlinie laufenden Telegraphendrähte. Die Anordnung einer im Eisenbahnzuge befindlichen Sendestation ist in Fig. 99 zu sehen. Zu derselben gehört ein Induktions-

apparat, dessen Primärstromkreis aufser der Batterie und einem Morsetaster auch einen automatischen Unterbrecher enthält. Das eine Ende des Sekundärdrahtes ist durch Vermittelung der Räder und Schienen zur Erde abgeleitet, das andere Ende führt zu mehreren Metallstreifen *R*, die isoliert oberhalb des Wagens angebracht sind; später wurden dieselben einfach durch das metallene Dach des Wagens ersetzt. Wird der Telegraphentaster im Primärkreis des Induktionsapparats niedergedrückt und dadurch dieser letztere in Tätigkeit gesetzt, so erhält die mit dem Sekundärdraht verbundene Metallfläche abwechselnd positive und negative Ladungen; diese wirken durch Influenz auf den nahen Telegraphendraht und rufen in demselben bei ihrem Entstehen und Verschwinden die sogenannten Ladungs- und Entladungsströme hervor. Wie jeder andere Strom, so folgen auch diese Ströme der Telegraphenlinie und setzen die an den Stationen mit derselben verbundenen Empfangsapparate in Tätigkeit. Man kann also von den fahrenden Zügen nach den Stationen beliebige telegraphische Zeichen übermitteln und diese können mit einem Telephon oder mit dem gewöhnlichen Schreibtelegraphen aufgenommen werden. Ebensolche Empfangsapparate wurden nun auch auf den Zügen installiert; um zu diesen von den Stationen aus telegraphieren zu können, stellten Edison und Gilliland auf den Stationen in der Nähe der Telegraphenleitungen grofse isolierte Metallplatten auf, welche auf ähnliche Weise, wie dies bei den fahrenden Sendeapparaten geschah, abwechselnd positive und negative Ladungen erhielten; diese wirkten durch Influenz auf die Telegraphenlinien, und die letzteren übertrugen die Wirkung auf die Empfangsapparate in den fahrenden Zügen.

Edison trug sich mit dem Plan, sein System noch weiter auszubilden, um damit zu gröfseren Zielen zu gelangen. Grofse, von hohen Pfählen oder auch von Luftballons oder Drachen getragene Metallflächen sollten es ermöglichen, Signale auf bedeutende Entfernungen zu übermitteln; auf diese Weise sollte z. B. zwischen den auf hohem Meere einander begegnenden Schiffen oder zwischen diesen und der Küste eine Verbindung geschaffen werden. Seine kühnen Pläne gelangten jedoch nicht zur Verwirklichung. Die Eisenbahntelegraphen von Phelps und Edison wurden allerdings auf einigen amerikanischen Linien eingeführt, wo sie in befriedigender Weise funktionierten und sogar in einigen Fällen, zumal bei Verkehrsstörungen durch Schneestürme, wertvolle Dienste

leisteten; trotzdem wurden sie später wieder abgeschafft, weil die Einrichtungen zu selten benutzt wurden, um sich bezahlt zu machen.

Ungefähr um dieselbe Zeit, als Phelps und Edison in Amerika ihre Systeme an die Öffentlichkeit brachten, wurde in England der Ruf nach einer sicheren telegraphischen Verbindung zwischen der Küste und den vorgeschobenen Posten der Leuchttürme und womöglich auch zwischen diesen und den in ihrer Nähe befindlichen Schiffen immer dringender. Hauptsächlich auf Initiative des Chefs des englischen Telegraphenwesens, W. H. Preece, fanden in dieser Richtung Versuche statt, die sich vor allem auf die Induktion zwischen geschlossenen Stromkreisen stützten und zu einer, wenigstens für gewisse Fälle ausreichenden Lösung der gestellten Aufgabe führten. Mit einigen Stationen wurde eine Verbindung geschaffen, die noch jetzt regelmäfsig ihren Dienst versieht. Weitere Versuche galten den Grenzen der Leistungsfähigkeit des Systems und den äufsersten Entfernungen, welche sich mit demselben überbrücken lassen; diese Versuche wurden auch dann noch fortgesetzt, als man in den elektrischen Wellen ein neues Übertragungsmittel von wunderbarer Vielseitigkeit kennen gelernt hatte.

Preece begann seine Versuche im Jahre 1884[9]. Den Ausgangspunkt derselben bildete die Beobachtung, dafs die Ströme, welche in den Telegraphenleitungen zirkulierten, häufig auf die benachbarten Telephonleitungen einwirkten, wodurch die Nachrichten, welche von den ersteren übermittelt wurden, auch von den Hörapparaten der Telephonleitungen ohne Schwierigkeit aufgenommen werden konnten. Hierbei war eine Leitung durch den Erdboden nach Lage der Verhältnisse ausgeschlossen; nur die Induktion zwischen den Telegraphenströmen und den Telephondrähten konnte die Ursache sein. So kam Preece auf den Gedanken, die aufserordentliche Empfindlichkeit des Telephons zu benutzen, um die Induktionswirkungen noch auf gröfsere Entfernungen bemerkbar zu machen. Diesbezügliche Versuche, die im Jahre 1886 am Ufer des Severn zwischen Gloucester und Bristol vorgenommen wurden, führten zu günstigen Ergebnissen. Es wurden dazu zwei Linien von je 14 englischen Meilen Länge benutzt, die durch eine mittlere Entfernung von etwa $4^1/_2$ englischen Meilen voneinander getrennt waren. Jede dieser Linien wurde durch Drähte, die sich möglichst weit von denselben entfernten, zu einem geschlossenen Stromkreise vervollständigt. Wurde nun in die eine dieser Linien

ein Strom von 0,5 Ampère Stärke geschickt und durch mechanische Hilfsmittel in so rascher Folge unterbrochen, dafs die einzelnen Stromstöfse sich in einem in diese Linie eingeschalteten Telephon zu einem kontinuierlichen Ton verbanden, so war in einem in die andere Linie eingeschalteten Telephon dieser Ton ebenfalls zu hören. Das Resultat blieb unverändert, wenn man die beiden Linien, anstatt sie zu geschlossenen rein metallischen Stromkreisen zu vervollständigen, nach Art der gewöhnlichen Telegraphenleitungen an ihren Enden mit der Erde verband. Immerhin aber bildete die angegebene Entfernung die Grenze, bis zu welcher mit den damaligen Mitteln hörbare Signale erhalten werden konnten. Versuche mit kürzeren Leitungen, die weniger weit voneinander entfernt waren, zeigten damals, dafs die Entfernung, bis zu welcher eine Übertragung möglich war, zur Länge einer jeden der beiden Leitungen und zur Quadratwurzel aus der Stromstärke im Sendestromkreise annähernd in direktem Verhältnis stand. Als vorteilhaft ergab es sich ferner, den Widerstand, sowie die Kapazität und die Selbstinduktion der beiden Stromkreise möglichst herabzusetzen; auch gelang die Übertragung um so besser, je rascher die Stromunterbrechungen im Primärkreise aufeinanderfolgten.

Diese Ergebnisse bildeten die Veranlassung zu Versuchen in gröfserem Mafsstabe, die im Jahre 1893 im Bristolkanal, in der Nähe von Cardiff, zwischen Lavernock Point und den beiden kleinen Inseln Flat Holm und Steep Holm angestellt wurden. Der Schauplatz der Versuche ist aus der beistehenden Kartenskizze (Fig. 100 a. f. S.) ersichtlich; die Entfernungen zwischen Flat Holm, bezw. Steep Holm und Lavernock-Point betragen 3,3 und 5,35 englische Meilen (ca. 5,5 bezw. 8,6 km). Auf Lavernock-Point wurden zwei von Pfählen getragene dicke Kupferdrähte ausgespannt und so miteinander verbunden, dafs sie eine einzige Leitung von doppeltem Querschnitt bildeten; die Länge derselben betrug 1267 Yard (1157 m). Die Enden der Linie erhielten Verbindungen mit der Erde. Aufser dieser Linie wurden vergleichsweise noch andere Leitungen benutzt, die zu dieser parallel, aber 600 Yard (588 m) weiter nach dem Innern errichtet waren und von denen die eine aus zwei Drähten mit Guttaperchaisolierung, eine andere aus einem unbedeckten Kupferdraht bestand; einige Versuche fanden auch mit einem isolierten Draht statt, dessen Guttaperchaumhüllung ähnlich wie bei den unterseeischen Kabeln mit einem Eisendraht umwickelt war. Der Sendestrom an der Uferstation wurde durch eine Wechsel-

strommaschine mit einer Wechselzahl von 192 ganzen Perioden in der Sekunde erzeugt und hatte eine Maximalintensität von 15 Ampère; in den Empfängerstromkreis, der aus einem auf Flat Holm oder Steep Holm in gerader Linie auf den Boden gelegten Kupferdraht von 600 Yard Länge mit Guttaperchaisolierung bestand und dessen Enden ins Wasser mündeten, waren zwei Telephone eingeschaltet. Bis Flat Holm gelang die Übertragung vollkommen; auf Steep Holm wurden zwar noch wahrnehmbare Zeichen empfangen, die Übertragung funktionierte aber nicht mehr in sicherer Weise. Bei anderen Versuchen wurde der eine halbe englische Meile lange

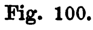
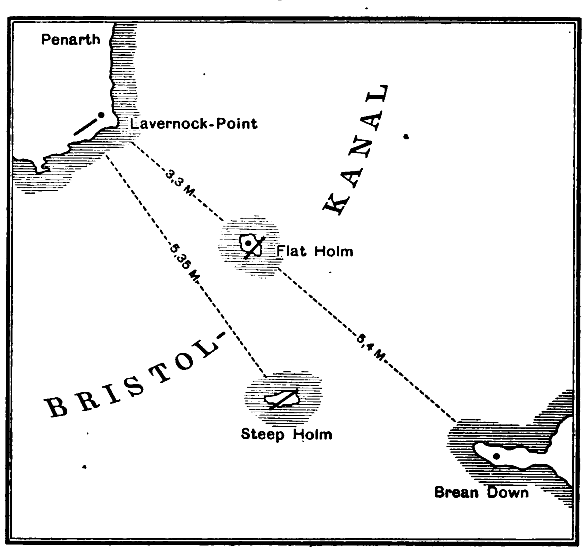


Fig. 100.



Empfangsdraht mit Guttaperchaumhüllung zwischen einer Schwimmboje und einem kleinen Dampfer in der Weise ausgespannt, dafs er nach Belieben über Wasser gehalten, oder zum gröfsten Teil in dasselbe untergetaucht werden konnte. In der Nähe des Ufers gelang die Übertragung in beiden Fällen gleich gut; sobald jedoch der Empfängerdraht eine englische Meile weit vom Ufer entfernt war, wurden die Zeichen nur dann erhalten, wenn er sich oberhalb der Wasserfläche befand; sie hörten auf, wenn der Draht unter Wasser tauchte. Preece erblickt hierin einen Beweis, dafs die Übertragung nicht durch Leitung zwischen den in das Wasser mündenden Enden der beiden Linien, sondern durch Induktion

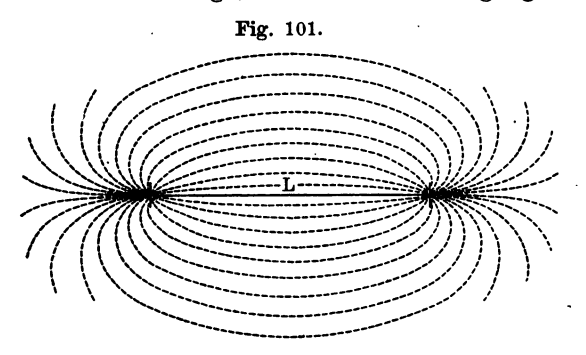
erfolgte, da diese durch ein ziemlich gut leitendes Medium hindurch, wie das Wasser, sich überhaupt nicht oder doch nur mit geringerer Stärke äufsern könne als durch die Luft. Nach Lodge dagegen ist nur der Beweis erbracht, dafs die Induktion bei den geschilderten Ergebnissen mitgewirkt haben mufs; einen Anteil an denselben schreibt er aber auch der Leitung zu, die bei geringer Entfernung zwischen den beiden Linien sogar der Induktion an Wirkung überlegen sei. Auf gröfsere Entfernungen dagegen sei weder die eine noch die andere für sich allein im stande gewesen, die Übertragung zu übermitteln; diese sei vielmehr das Ergebnis des Zusammenwirkens der beiden Faktoren. Die Frage wäre einwandfrei entschieden worden, wenn man an der gleichen Stelle und unter sonst gleichen Bedingungen wie mit den Wechselströmen auch mit Gleichstrom, der eine Induktionswirkung ausschliefst, Versuche vorgenommen hätte; solche scheinen indessen nicht stattgefunden zu haben. Immerhin darf man aus den Ergebnissen der Beobachtungen von Rathenau und Strecker schliefsen, dafs bei den Versuchen von Preece die Leitung nur in zweiter Linie mitgewirkt haben kann.

Die Anlage auf Lavernock-Point und Flat Holm, die ursprünglich nur für die Zwecke der beschriebenen Versuche geschaffen worden war, erhielt nach dem ermutigenden Ausgang dieser letzteren einen permanenten Charakter und wurde für den regelmäfsigen Telegraphendienst zwischen dem auf der kleinen Insel gelegenen Leuchtturm und der Küste bestimmt. Zu diesem Zwecke wurde die Wechselstrommaschine durch eine Batterie von 50 Leclanchéelementen mit automatischem Unterbrecher ersetzt; der letztere wurde für eine Frequenz von 400 Unterbrechungen eingerichtet, weil das verwendete Telephon für diese Zahl am empfindlichsten ist. Auf Flat Holm sowohl, wie auf Lavernock-Point wurden zu den Linien von Pfählen getragene dicke Kupferdrähte ohne Guttaperchaumhüllung benutzt, um die Kapazität und Selbstinduktion möglichst herabzusetzen. Die abgegebenen Zeichen werden fehlerfrei übertragen, und die Geschwindigkeit, mit welcher dieselben aufeinanderfolgen, hängt nur von der Geschicklichkeit des Telegraphisten ab; in einzelnen Fällen soll eine Geschwindigkeit von 40 Worten in der Minute erreicht worden sein. Seit März 1898 ist die geschilderte Anlage in regelmäfsigem Betrieb. Eine Vervollständigung erhielt dieselbe später durch ein von Evershed[10]) konstruiertes Relais. Dasselbe besteht aus zwei Rechtecken von

sehr dünnem Draht, die zwischen den Polen eines Magneten drehbar aufgehängt sind und mit der Empfangsleitung in Verbindung stehen; werden dieselben von den in dieser Leitung induzierten Strömen durchflossen, so geraten sie in Schwingungen und schliefsen dadurch den Lokalstromkreis. Die Empfindlichkeit dieses Relais ist ungemein grofs.

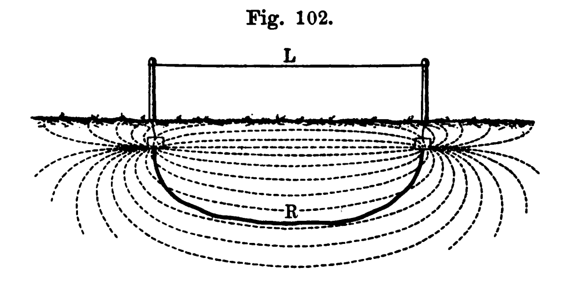
Die auf Flat Holm und Lavernock-Point vorhandene Anordnung ist übrigens nicht die einzige, welche die Übertragung von Zeichen

Fig. 101.



auf gröfsere Entfernungen durch Induktion gestattet. Wie wir bereits sahen, können die beiden einander parallelen Luftleitungen auch durch Drähte, welche die Enden einer jeden miteinander verbinden und sich möglichst weit von den parallelen Strecken ent-

Fig. 102.



fernen, zu geschlossenen Stromkreisen gemacht werden. Oder man kann auch Drahtspulen verwenden, die beide in der gleichen Ebene liegen; man stellt dieselben her, indem man sowohl auf der Sendewie auf der Empfangsstation auf dem Erdboden eine kreisförmige oder rechteckige Fläche absteckt und um dieselbe einen isolierten Draht in einer oder mehreren Windungen herumführt. Zwischen den beiden ersten Anordnungen besteht eigentlich kein wesentlicher Unterschied; denn wenn auch der Strom zwischen den beiden in

die Erde oder ins Wasser versenkten Platten nicht ausschliefslich dem kürzesten Wege folgt, sondern sich nach allen Richtungen hin ausbreitet, so kann man sich doch, wie dies in Fig. 101 und 102 (a. v. S) im Aufrifs und im Grundrifs dargestellt ist, diese sämtlichen Stromlinien durch einen einzigen resultierenden Leiter *R* ersetzt denken, welcher, wie in der zweiten Anordnung, zusammen mit der Luftlinie *L* den gewöhnlichen geschlossenen Stromkreis bildet. Preece hält den Stromschlufs durch die Erde für vorteilhafter als die anderen Verfahren. Mit bestimmten Drahtlängen, die einmal auf den beiden Stationen geradlinig und parallel zueinander ausgespannt, ein anderes Mal zu Spulen gewunden wurden, erhielt Preece im ersteren Falle bessere Wirkungen und eine Übertragung auf weitere Entfernungen als im zweiten Falle. In der Praxis ist nach Preece, wenn z. B. auf eine Entfernung von 10 englischen Meilen (etwa 16 km) telegraphiert werden soll, unter Berücksichtigung sämtlicher Faktoren, welche die Übertragungsgrenze herabsetzen können, eine Linie von 10 Meilen Länge auf jeder Seite ausreichend; für geringere Entfernungen genügen kürzere Linien auf jeder Seite, und anderseits würde es nach der Ansicht von Preece nicht schwer fallen, sogar auf noch gröfsere Entfernungen als 10 englische Meilen Signale zu übertragen. Unglücklicherweise sind aber geradlinige Leitungen selbst von der für geringere Entfernungen ausreichenden Länge gerade in solchen Fällen häufig unmöglich, in welchen eine telegraphische Verbindung ohne fortlaufende Leitung von der gröfsten Wichtigkeit wäre, nämlich bei den Leuchtschiffen oder den auf isolierten Felsmassen gelegenen Leuchttürmen.

Nach Stevenson[11]) sind übrigens nur bei kleinen Entfernungen parallele Linien vorteilhafter als horizontale Spulen. Für gröfsere Entfernungen hält Stevenson solche Spulen für wirksamer, und ihre Anlage bietet auch, zumal bei grofsen Drahtlängen, geringere Schwierigkeiten, da sie einfach auf die Erde gelegt werden können. So konnte Stevenson mit zwei Spulen, welche aus je neun Windungen von 200 Yard (etwa 183 m) Durchmesser bestanden und von welchen die primäre Spule 30, die sekundäre 260 Ohm Widerstand hatte, unter Anwendung eines Stromes von 0,23 Ampère in der Primärspule auf eine Entfernung von 870 Yard (etwa 795 m) zwischen den Zentren der beiden Spulen Zeichen übertragen. Die Grenze, bis zu welcher eine Übertragung möglich ist, wächst nach Stevenson mit der Quadratwurzel aus dem

Durchmesser jeder Spule; um die Übertragungsgrenze zu verdoppeln, mufs man also den Durchmesser und somit auch die Drahtlänge jeder von den beiden Spulen ebenfalls verdoppeln. Lodge[12]) findet allerdings ein etwas günstigeres Verhältnis, doch ist dabei vorausgesetzt, dafs die Stromstärke im Primärkreise immer die gleiche bleibt, und dazu bedarf es, wenn die Drahtlänge und damit der Widerstand dieser letzteren wächst, entweder einer wesentlich gröfseren Stromenergie, oder man mufs, um die Widerstandsvermehrung des Primärkreises auszugleichen, den Querschnitt des Drahtes in demselben Verhältnis vergröfsern wie seine Länge. Damit würden aber die Anlagekosten bald ins Ungemessene wachsen. Es ist deshalb begreiflich, dafs das von Stevenson empfohlene System niemals praktische Verwendung gefunden hat.

44. Telegraphie mit abgestimmten Apparaten.

Um eine Übertragung auf gröfsere Entfernungen zu ermöglichen, griff Lodge[13]) zu einem Verfahren, welches den Übergang zur Telegraphie mit elektrischen Wellen bildet. Eigentliche elektrische Wellen kommen dabei nicht zur Verwendung; wohl aber werden die Stromkreise der beiden miteinander korrespondierenden Stationen durch Einfügung von Kondensatoren von geeigneter Kapazität aufeinander abgestimmt. Das Prinzip der Syntonie zwischen zwei Stromkreisen, welches die Grundlage des Systems von Lodge bildet, ist durch den in § 27 beschriebenen Versuch mit den beiden Leydener Flaschen hinreichend klargestellt; auf diesen verweisen wir deshalb den Leser. Bei diesem Versuche betrug allerdings der Abstand zwischen den beiden Stromkreisen nur wenige Meter, und es waren deshalb auch nur geringe Kräfte erforderlich. Um ein kräftigeres Magnetfeld zu bekommen, wie es zur Übertragung auf gröfsere Entfernungen notwendig ist, und um auch an der Empfangsstation intensivere Wirkungen zu erzielen, ersetzte Lodge die einfachen Schliefsungskreise der beiden Stationen durch Spulen, die aus mehreren, zumeist horizontalen Windungen bestanden. Ferner wurden anstatt gewöhnlicher Leydener Flaschen Kondensatoren von sehr grofser Kapazität verwendet. Die beiden Leydener Flaschen mit ihren einfachen Schliefsungskreisen besitzen nämlich nur eine verhältnismäfsig kleine Kapazität und geringe Selbstinduktion; die Frequenz der in den betreffenden Kreisen auftretenden Schwingungen ist dementsprechend eine hohe, etwa von

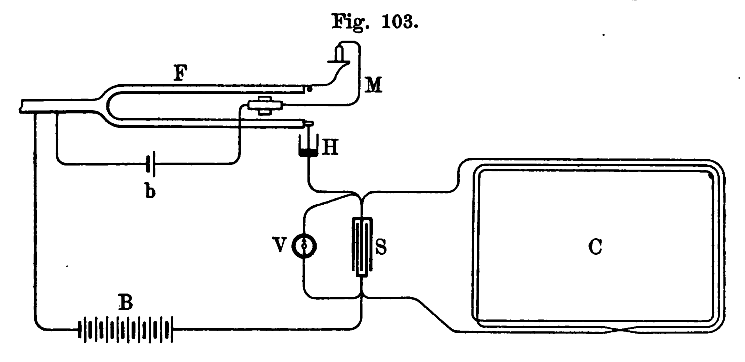
der Gröfsenordnung von mehreren Millionen pro Sekunde, wie sie für die Erzeugung von Funken geeignet ist; durch die hohe Kapazität und Selbstinduktion dagegen wird die Frequenz auf ein paar tausend oder sogar bis auf ein paar hundert Schwingungen in der Sekunde herabgesetzt, wie dies notwendig ist, wenn kein Funke erzeugt werden soll, sondern als Empfangsapparat ein Telephon dienen soll. In diesem Falle müssen ferner die Signale lange genug anhalten, dafs man sie nach ihrer Dauer wie die Punkte und Striche des Morsealphabets voneinander unterscheiden kann. Dies ist aber nicht möglich, wenn die Schwingungen im Primärkreise durch die Entladungen einer Elektrisiermaschine oder eines Induktionsapparats erzeugt werden; statt dessen arbeitete daher Lodge im Primärkreis mit einer Wechselstrommaschine. Bei den ersten Versuchen bestand der Sendekreis aus einem Kabel von einer viertel englischen Meile Länge, welches um ein Rechteck von 150 und 30 Yard Seite gelegt wurde; der Empfängerkreis, der ungefähr 2500 m weit von dem ersteren aufgestellt wurde, hatte die gleiche Drahtlänge, aus der jedoch ein weniger langes und dafür breiteres Rechteck gebildet wurde. Als Empfangsapparat diente ein gewöhnliches Telephon, welches freilich auf die Grundfrequenz des Alternators, nämlich auf 128 Schwingungen in der Sekunde, weniger gut ansprach als auf die dritte von den harmonischen Oberschwingungen, die mit geringerer Stärke die fundamentalen Stromschwingungen des Alternators begleiteten. Auf diese dritte Oberschwingung von 384 Wechseln in der Sekunde wurden deshalb, zumal auch das Ohr für eine derartige Schwingungszahl ungleich empfindlicher ist als für die Grundnote von 128 Schwingungen, durch Hinzufügung von Selbstinduktionsspulen die beiden Stromkreise abgestimmt. Einige Versuche fanden auch ohne Kondensatoren statt, aber sie verliefen, weil keine Syntonie vorhanden war, völlig ergebnislos; mit Kondensatoren dagegen wurden vermittelst einer Stromstärke von 10 bis 12, mitunter auch von 20 Ampère im Primärkreise bis auf zwei Meilen Entfernung hörbare Signale erzielt.

Die Anordnung einer Sendestation, die von der bisherigen Schilderung nur insofern abweicht, als statt der Wechselstrommaschine eine Akkumulatorenbatterie mit Stimmgabelunterbrecher den Strom liefert, ist in Fig. 103 dargestellt. *B* ist die Batterie, *F* der Stimmgabelunterbrecher, der die Aufgabe hat, den konstanten Strom der Batterie in einen intermittierenden zu verwandeln. Ihre

Bewegung erhält die Stimmgabel durch eine Hilfsbatterie *b* und einen Elektromagneten, der sich zwischen ihren Zinken befindet und, indem er dieselben anzieht, den Kontakt *M* und damit den Strom der Hilfsbatterie unterbricht. Die Schwingungen der Stimmgabel schliefsen und unterbrechen periodisch den Quecksilberkontakt *H* und mit ihm den Hauptstrom. *S* ist der mit den Enden der Spule *C* verbundene Kondensator, *V* ein Voltmeter. Um den intermittierenden Strom, den Strichen und Punkten des Morsealphabets entsprechend, längere oder kürzere Zeit hindurch in die Spule senden zu können, ist ferner in den Stromkreis ein Morsetaster einzuschalten.

Lodge hat die Intensität des in 100 km Entfernung von der Sendestation induzierten Stromes unter der Voraussetzung berechnet,

Fig. 103.



dafs die induzierende elektromotorische Kraft 100 Volt, die Wechselzahl des induzierenden Stromes 400 in der Sekunde und die Gesamtlänge des zu beiden Stromkreisen verwendeten, 2 cm dicken Kupferdrahtes 2 km beträgt. Bei einfacher, nicht durch Verwendung von Kondensatoren unterstützter Induktion findet Lodge als Maximum der induzierten Stromstärke 0,0064 Mikroampère (Millionstel Ampère), einen Betrag, der für das Telephon absolut unzureichend ist; durch Kondensatoren von passender Kapazität wird dagegen nach Lodges Berechnung die induzierte Stromstärke auf 500 Mikroampère gebracht, eine Stärke, die mehr als hinreichend ist, um die Telephonmembran in Schwingungen zu versetzen. Danach würde also die Syntonie auch mit dem gewöhnlichen Telephon als Empfänger die Übertragung auf sehr grofse Entfernungen ermöglichen; trotzdem hat Lodge durch Abstimmung des Telephons auf die der Schwingungsfrequenz der beiden Stromkreise entsprechende Note oder durch Konstruktion besonderer Empfänger-

typen eine noch gröfsere Empfindlichkeit zu erreichen gesucht. Einer von diesen Empfängern ist in Fig. 104 im Querschnitt sichtbar. Den Hauptbestandteil desselben bildet eine kleine Spule *C*, die von einem gespannten Draht *EH* zwischen den Polen *NN* eines Elektromagneten *M* festgehalten wird. Diese Spule ist in den Stromkreis des Empfängers eingeschaltet; sie wird deshalb von den Wechselströmen durchflossen, welche durch die Tätigkeit des Sendeapparats in dem Empfängerkreis induziert werden. Infolgedessen erfährt sie von den Polen des Elektromagneten eine wechselnde Anziehung und gerät in Schwingungen, welche sich der Resonanzplatte *E* mitteilen und dem Ohre vernehmbar sind, auch wenn die Stromstärke in der Spule nur überaus gering ist. Statt die Schwingungen der Spule einer Resonanzplatte mitzuteilen, läfst Lodge dieselben auch auf einen Mikrophonkontakt wirken, wo sie in der bekannten Weise Widerstandsänderungen und kräftigere Stromschwankungen hervorzurufen vermögen, die sich wiederum in einem Telephon durch stärkere Töne kundgeben. Eine derartige Anordnung ist schematisch in Fig. 105 dargestellt. *C* ist die an einem Mikrophonkontakt *M* zwischen den Polen eines Elektromagneten hängende Spule; *B* ist die Telephonbatterie, *L* eine Selbstinduktionsspule ohne Eisenkern. Von dem Batteriestrom, der beständig vorhanden sein mufs, wenn das Mikrophon richtig funktionieren soll, geht der gröfste Teil durch diese Spule hindurch, dagegen werden die Stromschwankungen, welche auf das Telephon *T* wirken sollen, nicht von der Spule durchgelassen und statt dessen zum Telephon geleitet. Bisweilen wurde in den Stromkreis auch ein Kondensator *S* eingeschaltet, um die Stromschwingungen von einer bestimmten Periode zu verstärken, die anderen dagegen zu schwächen.

Fig. 104.

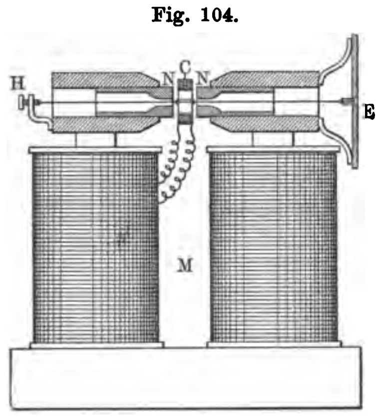
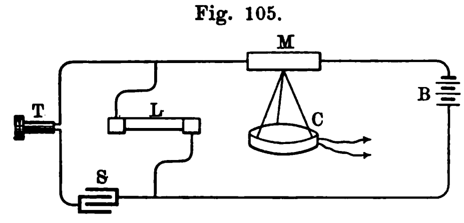


Fig. 105.



Mit Hilfe einer Stimmgabel von der Schwingungszahl der von

der Sendestation induzierten Ströme hat Lodge endlich einen Weckapparat konstruiert, der beim Eintreffen von Signalen eine elektrische Klingel auslöst.

Nach Lodge besitzt die Telegraphie durch Induktion zwischen geschlossenen abgestimmten Stromkreisen unter Benutzung von Wechselströmen mit niedriger Frequenz gegenüber der Telegraphie mit den eigentlichen elektrischen Wellen verschiedene Vorzüge. Unter diesen erwähnt Lodge, dafs leitende Massen zwischen den miteinander korrespondierenden Stationen der Übertragung langsamer Stromschwankungen nur wenig hinderlich seien, während sie die elektrischen Wellen aufhalten. Ferner hält er es für leichter, mit Hilfe geschlossener Stromkreise von grofser Ausdehnung starke Wirkungen zu erzielen. Der erste dieser Vorzüge besteht indessen nur bis zu einem gewissen Grade, da auch die elektrischen Wellen, vielleicht infolge der Beugung oder der Zurückwerfung, die sie an gröfseren Massen erfahren, auch von Hindernissen aus leitendem Material nicht immer in ihrer Ausbreitung beeinträchtigt werden. Der andere von Lodge erwähnte Vorzug verliert ebenfalls viel von seiner Bedeutung, weil mit wachsender Frequenz des Stromwechsels das Verhältnis zwischen den beiden Arten von Energie, aus welchen sich die auf der Sendestation dem Übertragungsapparat mitgeteilte Gesamtenergie zusammensetzt, nämlich der elektrostatischen und der magnetischen Energie, sich mehr und mehr zu Gunsten der letzteren verschiebt. Damit wächst der Anteil der Gesamtenergie, der sich in Gestalt elektromagnetischer Wellen durch den Raum ausbreitet, und diese können in einem Empfangsapparat merkliche Wirkungen hervorrufen, auch ohne dafs derselbe eine grofse Fläche zu umspannen braucht. In der Tat hat man nach den ersten Versuchen, bei welchen die Übertragung sich auf sehr bescheidene Entfernungen beschränkte, nichts von weiteren Fortschritten des geschilderten Systems gehört. Wie es scheint, hat sogar Lodge selbst die Versuche in dieser Richtung aufgegeben, um dafür der Übertragung durch die eigentlichen elektrischen Wellen seine ungeteilte Aufmerksamkeit zu widmen.

Literaturangaben.

[1]) Steinheil, Über Telegraphie, insbesondere durch galvanische Kräfte. München 1838.

[2]) Die historischen Angaben dieses Kapitels entstammen zum Teil einem Buche von Fahie: History of Wireless Telegraphy, 1. Aufl. London 1899.

[3]) Rathenau Elektrotechn. Zeitschr. Bd. 15, S. 616 [1894].
[4]) Strecker, Ebenda Bd. 17, S. 106 [1896].
[5]) Nature, 12. Jan. 1902, S. 129; Scientif. Am. 1902, S. 10.
[6]) Ducretet, Compt. rend. Bd. 134, S. 92 [1902].
[7]) Brown, Electrician, 21. März 1883.
[8]) W. Smith, Journ. of the Inst. of Electr. Engineers, 8. Nov. 1883.
[9]) Preece, British Ass. Rep. 1886 u. 1894; Electrician Bd. 33, S. 460 [1894]; Bd. 42, S. 405 [1898].
[10]) Evershed, Electrician Bd. 42, S. 332 [1898].
[11]) Stevenson, The Engineer, 24. März 1892; Journ. of the Inst. of Elect. Eng. Nr. 137, S. 951.
[12]) Lodge, Electrician Bd. 42, S. 270 [1898].
[13]) Ders., Ebenda Bd. 42, S. 269, 305, 366 u. 402 [1898/99].

Zweites Kapitel

Die Telegraphie vermittelst elektrischer Wellen

45. Vorschläge und erste Versuche.

Im Jahre 1888 stellte Hertz seine berühmten Experimente an, durch welche Maxwells geniale mathematische Abstraktion auf den Boden der erwiesenen Tatsachen verpflanzt wurde. Zum ersten Male wurden elektromagnetische Wellen in bewuſster Absicht erzeugt und ihrem Wesen nach erkannt; sie wurden auf ihrem Wege durch den Raum verfolgt, ihre Gesetze und ihre Wirkungen wurden untersucht. Etwa ein Jahr später, am 3. Dezember 1889, antwortete Hertz auf eine Anfrage des Ingenieurs H. Huber in München, ob er eine Übertragung von Telephongesprächen durch elektrische Wellen für möglich halte, in verneinendem Sinne, weil die Stromänderungen im Telephon im Vergleich mit der Periode der elektrischen Schwingungen zu langsam seien. Hinsichtlich der Möglichkeit einer drahtlosen Telegraphie mit Hilfe elektrischer Wellen findet sich in jenem Schreiben des groſsen Forschers keinerlei Auſserung. Der Grund dafür ist einfach genug: danach hatte der Fragende sich überhaupt nicht erkundigt. Alle die weitgehenden Deutungen, die jenes Schreiben später über sich ergehen lassen muſste, fallen angesichts dieser Tatsache in sich selbst zusammen. Dennoch will uns scheinen, daſs man dem Andenken von Heinrich Hertz nicht zu nahe tritt, wenn man annimmt,

er würde auch auf eine allgemeine Anfrage bezüglich der Verwendbarkeit der elektrischen Wellen zur Nachrichtenübermittelung nicht anders geantwortet haben als auf jene Frage des Münchener Ingenieurs. Denn eine derartige Verwendung erfordert vor allem genügend empfindliche Hilfsmittel zum Nachweis elektrischer Wellen von geringer Intensität; zur Zeit aber, als jener Brief geschrieben wurde, waren solche Hilfsmittel noch nicht bekannt oder ihre Bedeutung und Tragweite war noch nicht genügend gewürdigt.

In Wirklichkeit freilich war der Apparat, der später von anderen neu erfunden wurde und als Kohärer oder Radiokonduktor an die Öffentlichkeit gelangte, schon eine Reihe von Jahren, bevor Heinrich Hertz jenen Brief geschrieben hatte, aus den Händen des amerikanischen Forschers D. E. Hughes hervorgegangen; Hughes hatte vermittelst dieses Apparates Signale auf recht erhebliche Entfernungen übertragen und hatte das Wesen und die Ursache des Vorganges richtig erkannt. Indessen war über jene Versuche damals nichts in die Öffentlichkeit gedrungen; erst neuerdings hat Hughes dieselben, auf eine von Fahie an ihn gerichtete Anfrage, in einem ausführlichen Briefe beschrieben, den dieser dann in seiner Geschichte der drahtlosen Telegraphie publiziert hat[1]). An anderer Stelle ist dieser Brief bereits kurz erwähnt worden; seine historische Bedeutung veranlafst uns, das Wichtigste aus demselben wörtlich wiederzugeben.

„Im Jahre 1879 — so schreibt Hughes — als ich mit Versuchen mit meinem Mikrophon und meiner Induktionswage beschäftigt war, begegnete es mir zuweilen, dafs die Induktionswage nicht vollständig ins Gleichgewicht zu bringen war. Anscheinend lag die Ursache in Isolationsfehlern der Drahtspulen; eine nähere Prüfung überzeugte mich jedoch, dafs die Ursache in Wirklichkeit in einer unvollkommenen Berührungsstelle, einer Art von Mikrophonkontakt lag, der sich irgendwo im Stromkreise gebildet hatte. Als ich dann das Mikrophon zu Hilfe nahm, da zeigte es sich, dafs dieses einen Strom passieren liefs und in dem Telephonempfänger einen Ton erzeugte, mochte dasselbe nun unmittelbar in den Stromkreis eingeschaltet oder einige Fufs weit von den Spulen aufgestellt sein, durch welche der intermittierende Strom ging. Nach vielen Versuchen fand ich, dafs die Wirkung ausschliefslich von dem in der Primärspule der Induktionswage auftretenden Extrastrom herrührte.

„Durch weitere Versuche wurde festgestellt, dafs ein durch

eine Spule fliefsender intermittierender Strom bei jeder Unterbrechung einen so intensiven Extrastrom erzeugte, dafs davon die ganze Atmosphäre in dem Raume, in welchem die Versuche angestellt wurden (und sogar in einigen entfernten Räumen) eine augenblickliche unsichtbare Ladung erhielt, deren Vorhandensein sich kundgab, wenn man als Empfänger einen Mikrophonkontakt zusammen mit einem Telephon benutzte. Dies führte mich zu Versuchen über die geeignetste Form eines Empfängers für diese elektrischen Wellen, die offenbar bis auf grofse Entfernungen drangen, Mauern und andere scheinbare Hindernisse durchsetzten. Empfänger, die aus harter Kohle, aus Koks, oder aus einem Stück Koks in Berührung mit einer polierten Stahlfläche hergestellt wurden, erwiesen sich als überaus empfindlich und erlangten von selbst ihren ursprünglichen Zustand wieder; dagegen war ein unvollkommener Kontakt zwischen Metallen zwar ebenso empfindlich, aber es stellte sich nach dem Durchgang einer elektrischen Welle ein richtiger Zusammenhang ein, und es entstand ein vollkommener Kontakt .... Der empfindlichste und beste Empfänger, den ich hergestellt habe, gerät nicht in permanenten Zusammenhang, sondern erlangt augenblicklich seinen ursprünglichen Zustand wieder und erfordert deshalb keine Erschütterungen oder andere mechanische Hilfsmittel, um die Kontaktstücke, nachdem sie für einen Augenblick in innige Berührung miteinander gebracht wurden, wieder voneinander zu trennen.

„Bald wurde ich gewahr, dafs ein unsichtbarer Funke in den Mikrophonkontakten einen thermoelektrischen Strom hervorrief, der stark genug war, um sich vermittelst des in den Stromkreis eingeschalteten Telephons bemerkbar zu machen, und dafs es deshalb viel besser und zweckmäfsiger war, in dem Empfängerkreis ein schwaches galvanisches Element zu benutzen. Der Mikrophonkontakt funktionierte in diesem Falle als Relais, da der Berührungswiderstand in demselben unter der Einwirkung der durch die Atmosphäre übertragenen elektrischen Wellen abnahm.

„Ich will mich nicht damit aufhalten, die zahlreichen Formen von Sendern und Empfängern zu beschreiben, die ich im Jahre 1879 konstruierte und die in verschiedenen Bänden meiner Manuskripte aus dem Jahre 1879 verzeichnet sind; dieselben wurden nie veröffentlicht, sind aber gröfstenteils noch in meiner Wohnung vorhanden. Ich will mich auf einige der wichtigsten Punkte beschränken. So fand ich, dafs besonders unvermittelte Impulse

ganz in derselben Weise auf den Mikrophonkontakt einwirkten, mochten sie nun durch den Extrastrom einer Spule oder durch eine Reibungselektrisiermaschine auf die Luft übertragen sein; die Wirkung war mehr durch die unvermittelte Einwirkung des hohen Potentials als durch einen andauernden Einfluſs bedingt. So hatte ein Funke, der von einer geriebenen Siegellackstange erhalten wurde, die gleiche Wirksamkeit wie die Entladung einer Leydener Flasche von demselben Potential. Sowohl das geriebene Siegellack als die Leydener Flasche blieben ohne Wirkung, solange sie nicht durch einen Funken entladen wurden; und es war offenkundig, daſs dieser Funke, so schwach er auch sein mochte, seinen Einfluſs in Gestalt von Wellen oder unsichtbaren Strahlen, deren Gesetze ich zu jener Zeit nicht zu bestimmen vermochte, auf die ganze umgebende Atmosphäre erstreckte . . . . . Im Jahre 1879, als ich diese Versuche über die Übertragung durch die Luft anstellte, hatte ich zwei verschiedene Probleme zu lösen: 1. welches die wahre Natur dieser elektrischen Luftwellen sei, die, obschon unsichtbar, jeden Gedanken einer Isolierung zu vereiteln und bis auf unbestimmte Entfernung durch den Raum zu dringen schienen; 2. den besten Empfänger ausfindig zu machen, der auf ein Telephon oder Telegrapheninstrument in der Weise einwirken könnte, daſs man erforderlichenfalls im stande sein würde, diese Wellen zur Übertragung von Nachrichten zu benutzen. Die zweite Aufgabe wurde mir leicht, als ich fand, daſs nur das Mikrophon, welches ich zuvor in den Jahren 1877 bis 1878 erfunden hatte, die Fähigkeit besaſs, unter Zuhilfenahme eines Telephons oder eines Galvanometers diese unsichtbaren Wellen offenkundig zu machen; und bis zum heutigen Tage kenne ich keine Vorrichtung, die der Empfindlichkeit des Mikrophonkontaktes als Empfänger nahe kommt."

Hughes nennt hierauf eine Reihe von Forschern, die sich auf seine Einladung zu Ende des Jahres 1879 und zu Anfang des Jahres 1880, sowie auch später im Jahre 1888 zu ihm begeben hatten, um seine Versuche in Augenschein zu nehmen und sich von der Richtigkeit der gemachten Angaben zu überzeugen. Darauf fährt er fort:

„Sie alle sahen Versuche von der Art wie die schon beschriebenen, bezüglich der Übertragung durch die Luft vermittelst des von einer kleinen Spule erzeugten und von einem halbmetallischen Mikrophon aufgenommenen Extrastromes; die Resultate waren in

einem Telephon hörbar welches mit dem Mikrophonempfänger verbunden war. Sender und Empfänger befanden sich in verschiedenen Räumen, ungefähr 60 Fuſs weit voneinander entfernt. Nachdem ich mit Erfolg sämtliche Entfernungen probiert hatte, die ich in meiner Wohnung in Portland Street zur Verfügung hatte, bestand mein Verfahren in der Regel darin, den Sender in Tätigkeit zu setzen und, mit meinem Empfänger in der Hand und dem Telephon am Ohr, die „Great Portland Street“ auf und ab zu gehen.

„Bis zu einer Entfernung von 60 Yards schienen die Töne etwas stärker zu werden, dann nahmen sie allmählich ab und in einer Entfernung von 500 Yards waren die gesandten Signale nicht mehr sicher wahrzunehmen. Eine bemerkenswerte Tatsache fiel mir auf: gegenüber von einigen Häusern hörte ich die Signale besser, während sie in der Nähe von anderen kaum zu vernehmen waren. Die von Hertz (1887 bis 1889) entdeckte Tatsache der Knotenpunkte in den reflektierten Wellen hat mir später erklärt, was mir damals ein Geheimnis geblieben war.

„In der Fabrik telegraphischer Instrumente von A. Stroh konnten Herr Stroh und ich die vom dritten Stockwerk zum Erdgeschoſs übertragenen Ströme deutlich hören, aber in meiner eine Meile entfernten Wohnung konnte ich keine deutlichen Signale wahrnehmen. Es hatte den Anschein, als ob die zahllosen dazwischenliegenden Gas- und Wasserleitungsröhren die geringen, von einer kleinen Spule übertragenen Extraströme absorbierten oder zu sehr schwächten.

„Am 20. Februar 1880 kam der Präsident der Royal Society, Herr Spottiswoode, mit den beiden Sekretären Prof. Huxley und Prof. Stokes zu mir, um meine Versuche bezüglich der Übertragung von Signalen durch die Luft zu sehen. Die vorgeführten Versuche waren durchaus erfolgreich, und anfangs schienen die Besucher von den Ergebnissen überrascht; nach etwa dreistündigem Experimentieren sagte jedoch Prof. Stokes, alle Resultate seien durch bekannte Effekte der elektromagnetischen Induktion zu erklären, und er könne deshalb meiner Ansicht von dem Vorhandensein damals unbekannter elektrischer Wellen in der Luft nicht zustimmen; gleichwohl finde er, daſs das neue Material, über welches ich verfügte, für eine der Royal Society vorzulegende Abhandlung vollkommen hinreichend sei.

„Ich war jedoch so entmutigt, weil es mir nicht gelungen

war sie von der tatsächlichen Existenz dieser elektrischen Luftwellen zu überzeugen, dafs ich es ablehnte, eine Abhandlung darüber zu schreiben, solange ich nicht besser in der Lage sei, die Existenz dieser Wellen zu beweisen; und ich setzte meine Versuche noch einige Jahre hindurch fort, in der Hoffnung, einen vollkommenen wissenschaftlichen Beweis zu finden für das Vorhandensein elektrischer Wellen in der Luft, die durch den Funken vom Extrastrom einer Spule, oder von einer Reibungselektrisiermaschine, oder von einer Sekundärspule erzeugt werden . . . . ."

Dieser „vollkommene wissenschaftliche Beweis für das Vorhandensein elektrischer Wellen", vor dem der Scharfsinn und die experimentelle Geschicklichkeit des Erfinders des Mikrophons gescheitert waren, blieb dem Genius unseres Heinrich Hertz vorbehalten. Die Gerechtigkeit aber verlangt, dafs wir auch dem Verdienste anderer unsere Anerkennung nicht versagen. Mit den unvollkommenen Mitteln, über die Hertz verfügte, würde er es wahrscheinlich für unmöglich gehalten haben, durch elektrische Wellen weiter als auf eine kleine Entfernung von ihrem Entstehungsorte sichtbare Wirkungen zu erzielen oder Signale zu übertragen; und doch hatte damals schon der Erfinder des Mikrophons diese Wirkungen tatsächlich erzielt. Wenige Jahre später erklärte unabhängig von Hughes auch ein anderer Forscher, der Engländer William Crookes, die Nutzbarmachung der elektrischen Wellen in grofsartigstem Mafsstabe nicht nur für möglich, sondern auch für unmittelbar bevorstehend. In einem im Februarhefte 1892 der Zeitschrift „Fortnightly Review" erschienenen Aufsatze „Some Possibilities of Electricity", der freilich stellenweise mehr von der Phantasie des Dichters als von der vorsichtigen Logik des Denkers diktiert erscheint, entwirft Crookes folgendes Zukunftsbild:

„Ob längere Atherwellen, die das Auge nicht wahrnimmt, beständig um uns in Tätigkeit sind, ist bis vor kurzem niemals ernstlich untersucht worden. Jetzt aber hat sich uns durch die Untersuchungen von Lodge in England und von Hertz in Deutschland eine fast unbegrenzte Fülle von Äthererscheinungen oder elektrischen Strahlen offenbart, deren Wellenlänge zwischen tausenden von Meilen und wenigen Fufs variiert. Hier erschliefst sich vor unseren Augen eine neue, staunenerregende Welt, von der wir kaum glauben können, dafs sie nicht auch die Möglichkeit einer Übertragung des Gedankens in sich schliefsen solle. Lichtstrahlen dringen nicht durch eine Mauer, ja nicht einmal, wie wir

leider wissen, durch einen Londoner Nebel. Elektrische Wellen, deren Länge 1 m oder mehr beträgt, dringen dagegen mit Leichtigkeit durch diese Substanzen, die ihnen gegenüber transparent sind. Damit bietet sich die verführerische Möglichkeit einer Telegraphie ohne Drähte, ohne Pfähle, ohne Kabel, ohne all das kostspielige Beiwerk. Wenn wir nur die Verwirklichung weniger vernünftiger Forderungen zugeben, so ist die Aufgabe vollkommen in den Bereich des Möglichen gerückt. Wir sind heute im stande, elektrische Wellen von jeder verlangten Länge, von ein paar Fufs aufwärts, zu erzeugen; wir vermögen eine Aufeinanderfolge solcher Wellen hervorzubringen, die nach allen Richtungen des Raumes ausstrahlen. Manche von diesen Strahlen, wenn nicht alle, lassen sich auch durch Körper von geeigneter Form, die als Linsen wirken, brechen, und wir können auf solche Weise ein Strahlenbündel nach einer bestimmten Richtung senden; man hat hierfür grofse linsenförmige Massen von Pech oder ähnlichen Substanzen benutzt. An entfernten Orten könnten diese Strahlen zum Teil, wenn nicht vollständig, vermittelst geeigneter Apparate aufgefangen werden, und man könnte einer anderen Person vereinbarte Zeichen in Morseschrift übermitteln . . . . . Zwei Freunde, die sich innerhalb der Wirkungsgrenze ihrer Empfangsapparate befinden, könnten, indem sie ihre Apparate auf besondere Wellenlängen abstimmen, sobald es ihnen gefällt, durch die mit Hilfe mehr oder minder lange andauernder Strahlung übertragenen Morsezeichen miteinander in Verkehr treten. Im ersten Moment wird man gegen diesen Plan einwenden, dafs es nicht möglich sei, die Nachrichten geheim zu halten. Nehmen wir zum Beispiel an, die beiden Parteien seien eine Meile voneinander entfernt; dann müssen die vom Sendeapparat nach allen Richtungen ausgehenden Strahlen eine Kugel von einer Meile Radius erfüllen, und wer immer sich innerhalb dieser Entfernung vom Sendeapparat befindet, wäre in der Lage, die Nachrichten aufzufangen. Auf zweierlei Weise liefse sich dies jedoch vermeiden. Ist der Ort des Senders sowohl wie des Empfängers genau bestimmt, so könnte man die Strahlen mehr oder weniger sicher auf den Empfänger konzentrieren. Wenn dagegen Sender und Empfänger beweglich sind und darum der Gebrauch von Linsen ausgeschlossen ist, könnten die beiden Parteien ihre Apparate auf eine und dieselbe Wellenlänge, sagen wir von 50 m, abstimmen. Ich will annehmen, dafs Apparate erfunden werden, welche sich durch Drehung einer Schraube oder durch

Änderung der Länge eines Drahtes derart regulieren lassen, daſs sie zur Aufnahme von Wellen von nur einer bestimmten Länge geeignet werden. Zieht man in Betracht, daſs eine groſse Zahl von Wellenlängen, von wenigen Fuſs bis zu Tausenden von Meilen, zur Verfügung steht, so erscheint das Geheimnis realisierbar, denn selbst der unermüdlichste Neugierige würde vor der Aufgabe zurückschrecken, alle die Millionen von möglichen Wellenlängen durchzuprobieren, um endlich durch Zufall auf die Wellenlänge zu stoſsen, welche diejenigen benutzen, in deren Geheimnis er eindringen möchte. Mit Hilfe verabredeter Zeichen könnte man endlich auch diese Möglichkeit ausschlieſsen.

„Alles dies ist nicht etwa lediglich der Traum eines visionären Philosophen. Was erforderlich ist, um das Gesagte in den Bereich des täglichen Lebens zu rücken, liegt durchaus innerhalb der Grenze möglicher Entdeckungen und ist so vernünftig und klar auf dem Wege vorgezeichnet, den die Forschung in sämtlichen Hauptstädten Europas gegenwärtig mit Eifer verfolgt, daſs wir in jedem Augenblick die Nachricht erwarten dürfen, das Gesagte sei aus dem Gebiete der Spekulation in dasjenige der Tatsachen übergetreten. Auch jetzt schon ist übrigens die Telegraphie ohne Draht wenigstens innerhalb der engen Grenzen von einigen hundert Metern möglich; und vor einigen Jahren war ich selbst Zeuge von Versuchen, bei welchen Telegramme zwischen verschiedenen Teilen eines Hauses ohne Verbindung durch Drähte befördert wurden, unter Benutzung von Hilfsmitteln, welche mit den hier beschriebenen beinahe identisch waren.“

Ähnliche Ideen, wie sie hier Crookes zum Ausdruck bringt, waren bereits im Jahre 1890 auch von Prof. Threlfall in Sidney vertreten worden. Ohne die Erfindung jenes wunderbaren Instrumentes, welches wir in den wellenempfindlichen Kontakten oder Radiokonduktoren kennen gelernt haben, wären freilich diese Ideen wahrscheinlich doch nur der „Traum eines Philosophen“ geblieben. Sehen wir von Hughes ab, dessen Versuche keine praktischen Folgen hatten, so war der erste, der das Verhalten dieser Kontakte zur Übertragung von Signalen benutzte, der Engländer Lodge. Schon im Jahre 1893 verwendete er zum Studium der elektrischen Wellen seinen Kohärer, der mit einer Batterie in den Stromkreis eines Galvanometers eingeschaltet wurde; ein Uhrwerk erteilte der Röhre des Kohärers fortwährend leichte Erschütterungen und stellte damit den unter dem Einflusse der Wellen erniedrigten Widerstand

des Kohärers immer von neuem wieder her. Mit diesen Apparaten wurde die Gegenwart der Wellen bis auf 40 Yard (etwa 36 m) Entfernung von der Ausgangsstelle konstatiert. In einem Vortrage, den er im Jahre 1894 vor der British Association in Oxford hielt, bezeichnete Lodge eine halbe Meile (etwa 800 m) als die äufserste Entfernung, bis auf welche sein Kohärer noch von den Wellen beeinflufst werde. Später hat Lodge dagegen Verwahrung eingelegt, dafs man diesem Ausspruche, der sich nur auf die damals von ihm benutzten Instrumente bezogen habe, eine allgemeine Bedeutung zuschreiben wollte; tatsächlich aber hat Lodge weder den Versuch gemacht, die Übertragung auch nur bis zu der von ihm als erreichbar bezeichneten Grenze wirklich auszuführen, noch dachte er daran, das zu seinen Versuchen benutzte Galvanometer durch ein Telegraphenrelais in Verbindung mit einem Morseschreiber zu ersetzen. Wie er selbst zugibt, war es ihm nicht in den Sinn gekommen, dafs es in manchen Fällen von Vorteil sein könne, telegraphische Nachrichten anstatt mit Hilfe von Drähten und gewöhnlichen Strömen, vermittelst elektrischer Wellen durch den Raum zu übertragen [2]).

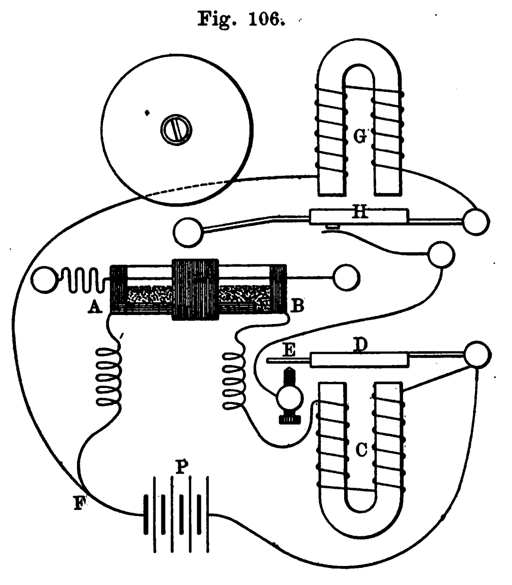
Anderen, so scheint es, war dieser Vorteil nicht ganz entgangen. So stellte im Jahre 1894 A. Muirhead [3]) Versuche mit drahtloser Telegraphie an, bei welchen er als Empfänger den unter dem Namen „Siphon Recorder“ bekannten Apparat von Lord Kelvin benutzte; dem Kapitän Jackson gelang es im Jahre 1895, nach einer Mitteilung von Preece [4]), vermittelst elektrischer Wellen zwischen Schiffen auf einige Entfernung Nachrichten auszutauschen.

46. Die Versuche von Popoff.

Im April 1895 berichtete Prof. Popoff von der Militärakademie in Kronstadt der physikalisch-chemischen Gesellschaft in Petersburg [5]) über einen von ihm erfundenen Apparat zur Registrierung der atmosphärischen Entladungen. Die benutzte Anordnung ist in Fig. 106 dargestellt; als wesentlichsten Bestandteil enthält dieselbe eine Feilichtröhre (Kohärer oder Radiokonduktor) AB, die samt dem Elektromagneten C eines Relais in den Stromkreis einer Batterie P eingeschaltet ist. Wird der Inhalt der Feilichtröhre unter der Einwirkung der elektrischen Wellen leitend, so zieht der Elektromagnet C seinen Anker D an; dadurch wird der Kontakt E geschlossen und der Strom durch den dem vorigen parallel geschalteten Stromkreis FGE geleitet, welcher den Elektro-

magneten *G* einer elektrischen Klingel enthält. Diese zieht jetzt ihren Anker an, und der Klöppel schlägt gegen die Glocke; gleichzeitig damit wird aber der bezeichnete Stromkreis unterbrochen, und der Klöppel fällt in seine Anfangsstellung zurück, wobei er die Feilichtröhre erschüttert und ihr den Widerstand zurückgibt. Der Apparat erlangt also, nachdem er durch das Tönen der Glocke das Eintreffen elektrischer Wellen angezeigt hatte, automatisch seinen Anfangszustand wieder und vermag auf eine erneute Einwirkung von Wellen anzusprechen.

Fig. 106.



Die Wellen, zu deren Aufnahme der geschilderte Apparat bestimmt ist, sind die durch atmosphärische Entladungen erzeugten. Um dieselben zur Wirkung zu bringen, wurde eine der Elektroden der Feilichtröhre mit der Auffangestange eines Blitzableiters oder einfach mit einem auf geeignete Weise in vertikaler Stellung befestigten Draht, die andere Elektrode mit der Erde verbunden. Die Aufzeichnung geschah vermittelst eines Richardschen Registrierapparates, der parallel zur Klingel geschaltet wurde. Um eine Beeinflussung des Radiokonduktors durch die Wellen zu vermeiden, welche durch die Unterbrechungsfunken des Relais und der Klingel erzeugt werden konnten, wurde derselbe in ein Metallgehäuse eingeschlossen.

„Durch Einschaltung eines empfindlichen Relais in den Stromkreis des Kohärers“ — so fährt Popoff nunmehr fort — „und einer gewöhnlichen elektrischen Klingel, welche akustische Signale zu geben und dem Kohärer automatisch Erschütterungen zu erteilen hat, in einen von dem ersteren abgezweigten Stromkreis erhalte ich einen Apparat, der auf jede elektrische Welle mit einem kurzen Läuten anspricht und rhythmische Schläge gibt, wenn die elektrischen Wellen in kontinuierlicher Weise erzeugt werden . . . .

„Ersetze ich das Eisenfeilicht in der Röhre des Kohärers durch Stahl, so erhalte ich einen guten Kohärer, mit welchem ich unter Benutzung eines Hertzschen Erregers von 30 cm Durchmesser und des gewöhnlichen Relais von Siemens und Halske elektrische Wellen bis auf 1 km Entfernung zu entdecken vermag. Mit dem Erreger von Bjerknes, dessen Durchmesser 90 cm beträgt, und einem empfindlicheren Relais erhalte ich bis auf 5 km Entfernung gute Resultate . . . . .“

Neu und charakteristisch an dem Popoffschen Apparate ist, wie man sieht, die Verwendung eines elektrisch bewegten Hammers oder einer elektrischen Klingel, um selbsttätig den Anfangswiderstand des Kohärers wieder herzustellen, sowie des später mit dem Namen Antenne bezeichneten vertikalen Leiters zum Auffangen der Wellen.

In einer späteren Mitteilung vom 5. Dezember 1895 spricht Popoff sein Vertrauen aus, dafs es ihm gelingen werde, mit Hilfe der elektrischen Wellen regelmäfsige Verbindungen herzustellen. Als Mittel dazu betrachtet er die Vervollkommnung seines Apparates durch einen kräftigeren Wellenerreger. Er würde jedoch den gleichen Zweck auch erreicht haben, wenn er, wie schon den Empfänger, nun auch den Sender mit einer Antenne versehen hätte. Diesen letzten wichtigen Schritt zu tun, blieb Guglielmo Marconi vorbehalten.

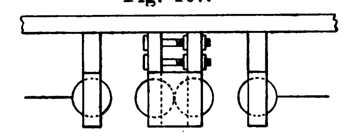
47. Das System Marconi.

Es kann nicht unsere Aufgabe sein, an dieser Stelle alle die Erzählungen, man möchte fast sagen Legenden, welche mit Bezug auf die Person und das Werk des jungen italienischen Erfinders Verbreitung gefunden haben, wiederzugeben oder richtigzustellen. Ebensowenig aber beabsichtigen wir, die Frage der Priorität oder Originalität seiner Erfindungen einer Prüfung zu unterwerfen, da doch die Verschiedenheit der Ansichten in dieser Beziehung wesentlich durch die Bedeutung bedingt ist, welche man den Worten „Originalität“ und „Erfindung“ beilegt.

In der Tat zeigt schon ein flüchtiger Blick auf den Wellenerzeuger, den Marconi in seinem ersten Patente vom 2. Juni 1896 beschreibt und der in Fig. 107 nach der englischen Patentschrift wiedergegeben ist, die vollständige Identität dieses Apparates mit dem Righischen Dreifunkenerreger, wie er in Fig. 62, 66, 67 und 68 auf S. 157, 160 und 161 abgebildet ist. In beiden Apparaten

entstehen die elektrischen Wellen durch die Entladung, die zwischen den beiden mittleren massiven Messingkugeln durch einen kurzen, innerhalb einer isolierenden Flüssigkeit überspringenden Funken stattfindet; die erforderlichen Ladungen werden den beiden Kugeln durch die Funken zugeführt, welche zwischen denselben und den beiden äufseren, mit den Polen einer Elektrizitätsquelle verbundenen Kugeln überspringen. Der von Marconi als Empfänger benutzte wellenempfindliche Apparat wiederum ist nichts anderes als die Feilichtröhre von Calzecchi-Onesti oder der Kohärer von Lodge. Auch die Verwendung eines Relais zur Schliefsung eines lokalen Stromkreises, sowie des Klöppels einer elektrischen Klingel zur selbsttätigen Wiederherstellung des Widerstandes der Feilichtröhre, sowie endlich der Antenne, wenigstens als Bestandteil des Empfangsapparates, findet sich, wie wir gesehen haben, schon bei Popoff, der seinen Apparat bereits im Jahre 1895 öffentlich beschrieben hat, während Marconi sein erstes Patent am 2. Juni 1896 anmeldete. In den wesentlichen Einzelheiten seiner Apparate kann also Marconi auf Priorität keinen Anspruch machen; andere sind ihm darin zuvorgekommen; und nach den Worten, die er selbst in seiner Patentbeschreibung gebraucht, bezieht sich seine Erfindung grofsenteils auf die Konstruktion der Apparate und die Art ihrer Verbindung zu einem Ganzen. Auch der Gedanke, mit Hilfe dieser Apparate Nachrichten in die Ferne zu übertragen, stammt, wie wir in den vorstehenden Paragraphen erfahren haben, keineswegs von Marconi. Sein unbestreitbares Verdienst bleibt es aber, dafs er eine tatkräftige Initiative entfaltet hat, wo andere nicht über schüchterne Vorschläge oder tastende Versuche hinausgekommen waren, und dafs er sofort und mit kühnem Griffe aufs praktische Gebiet übertragen hat, was anderen nur unbestimmt vorgeschwebt oder zu bescheidenen Experimenten gedient hatte. In vollem Umfange offenbart sich seine Erfindergabe sodann in der Besiegung zahlloser praktischer Schwierigkeiten und in einer Menge von Einzelheiten und Ergänzungen, die, so unbedeutend auch manche von ihnen für sich genommen erscheinen mag, doch für den praktischen Erfolg ungemein wesentlich sind. Und aus allen diesen Einzelheiten hat er schliefslich ein homogenes Ganzes geschaffen, welches mit Recht den Namen „System Marconi“ verdient.

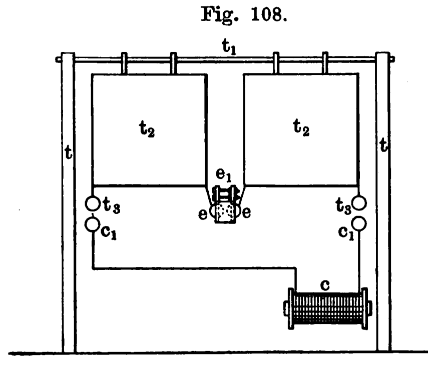
Fig. 107.



Die wichtigsten Bestandteile dieses Systems sind nach der Beschreibung, welche Marconi in seinem ersten Patent von denselben gibt, die folgenden.

Zur Erzeugung der elektrischen Wellen benutzte Marconi, wenigstens anfänglich, wie wir sahen, den Righischen Oszillator, der durch einen Ruhmkorffschen Induktor geladen wurde. In den Primärkreis dieses letzteren ist aufser der Batterie von galvanischen Elementen oder Akkumulatoren und dem Unterbrecher auch ein Morsetaster eingeschaltet, der während mehr oder minder langer Perioden, den Strichen und Punkten des Morsealphabets entsprechend, den Stromschlufs und damit die Aussendung von Wellen zu bewirken hat. Als Unterbrecher wird der bekannte automatische Hammer verwendet; damit derselbe vollkommen regelmäfsig funktioniere — was im allgemeinen auch dann nicht der Fall ist, wenn die Kontaktstücke, zwischen denen die Unterbrechungen stattfinden, aus Platin bestehen —, ist eines dieser Platinplättchen am Ende eines Zylinders angebracht, der durch einen kleinen elektrischen Motor beständig in Umdrehung erhalten wird. Der Induktionsapparat vermag Funken von 8 Zoll (etwa 20 cm) Länge zu liefern; aber die beiden mittleren Kugeln des Oszillators, deren Durchmesser 4 Zoll beträgt und zwischen denen sich Vaselinöl mit einem Zusatz von fester Vaseline befindet, sind nur $^1/_{30}$ bis $^1/_{25}$ Zoll (etwa 1 mm) voneinander entfernt; der Abstand zwischen einer jeden von ihnen und der benachbarten äufseren Kugel beträgt 1 Zoll. Die Länge der von diesem Apparate erzeugten Wellen sollte nach Marconi 10 Zoll betragen.

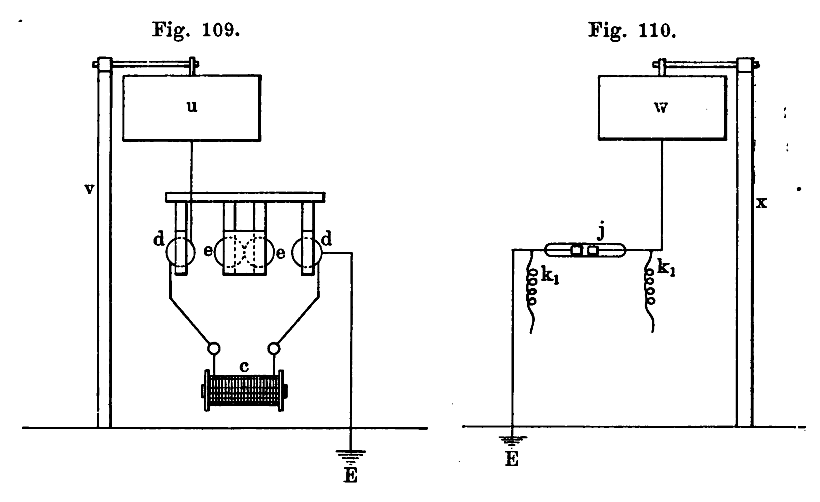
Fig. 108.



Wie bei den Versuchen von Righi, so wurde auch bei Marconis ersten Experimenten der Oszillator zumeist in der Brennlinie eines Reflektors aus Kupferblech angebracht, dessen Fläche einen parabolischen Zylinder bildete; ein gleicher und ebenso aufgestellter Reflektor gehörte zur Empfangsstation. Nur wenn auf grofse Entfernungen telegraphiert werden sollte, hielt Marconi anstatt der Anordnung mit Reflektoren die in Fig. 108 abgebildete für geeig-

neter; an den Oszillator waren hier beiderseits Kapazitäten in Gestalt der Metallplatten t_2 angeschlossen. Zwei ebensolche Platten oder Bleche wurden auch mit dem Empfänger verbunden. Nach Marconis damaliger Auffassung sollte die Tragweite der Apparate mit der Gröfse der Bleche und der Entfernung derselben voneinander und vom Erdboden zunehmen. Für den Verkehr zwischen Stationen, die durch Bodenerhebungen oder Bauten voneinander getrennt sind, gab Marconi der in Fig. 109 und 110 abgebildeten Anordnung den Vorzug; hier war nur eine Metallplatte mit Hilfe

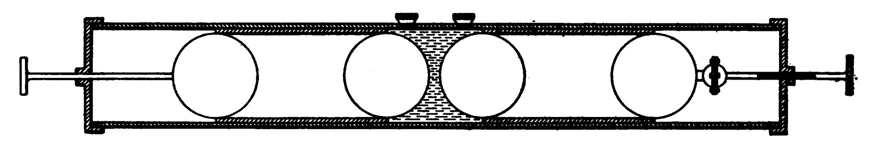
Fig. 109. Fig. 110.



eines Isolators an einem hohen Pfahl aufgehängt und mit dem einen Ende des Erregers bezw. des Empfängers verbunden, von dessen anderem Ende ein Draht zur Erde führte. Die Metallplatten waren eben oder auch zu Zylindern gebogen und oben geschlossen und wurden in diesem Falle wie Hüte über die Spitze von Pfählen gestülpt. In je gröfserer Höhe über dem Erdboden diese Platten oder Zylinder angebracht waren, desto gröfser war nach Marconis Ansicht auch die Entfernung, auf welche man telegraphieren könne. Schliefslich aber bemerkte er, dafs das Entscheidende nicht die durch einen langen Draht mit dem Erreger oder dem Empfänger verbundene Kapazität, sondern dieser Draht selbst sei; und so gelangte er dazu, die Kapazitäten vollständig aufzugeben und als Antennen ganz einfach lange Drähte zu benutzen, die von Pfählen oder, wenn besonders grofse Längen erforderlich waren, von Ballons oder Drachen getragen wurden.

Eine andere Form des Oszillators, mit vier gleichen, in Ebonitröhren montierten Kugeln, ist in Fig. 111 abgebildet. Der Zwischenraum zwischen den beiden mittleren Kugeln ist auch hier mit Öl ausgefüllt. Der Gebrauch des Öls wurde jedoch wieder aufgegeben, als die Erfahrung gelehrt hatte, dafs dasselbe nicht die erwarteten Vorteile bietet oder zum mindesten für das regelmäfsige Funktionieren des wellenerzeugenden Apparates nicht erforderlich ist. Zu gleicher Zeit erhielt dieser selbst eine wesentliche Vereinfachung. An Stelle des Oszillators mit vier Kugeln traten die mit isolierenden Handgriffen und an den einander zugekehrten Enden mit Kugeln versehenen Metallstangen, die bei jedem Induktionsapparat mit den Enden der Sekundärspirale verbunden zu sein pflegen. Für den oszillatorischen Charakter der Entladungen ist die kompliziertere Vorrichtung nicht notwendig; die Länge der Funken läfst sich bei der einfacheren Anordnung mit der gröfsten Leichtigkeit regulieren, und das gute Funktionieren

Fig. 111.



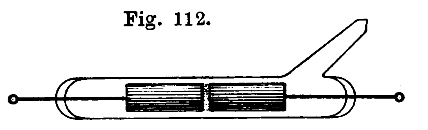
des Erregers ist gesichert, wenn nur die Oberfläche der Kugeln, zwischen welchen die Funken überspringen, öfter mit Schmirgelpapier gereinigt wird.

Das wichtigste Organ einer Empfangsstation ist die Feilichtröhre oder der Kohärer. Sollen die Wellen durch einen Reflektor aufgefangen werden, so wird der Kohärer samt einigen Nebenvorrichtungen, von denen später die Rede sein wird, in der Brennlinie desselben angebracht. Indessen benutzte Marconi eigentlich nur bei seinen ersten Versuchen und in besonderen Fällen einen Reflektor; später wurde derselbe ganz aufgegeben, und der Kohärer wurde einerseits mit der Antenne, anderseits mit einem zur Erde führenden Draht verbunden. In jedem Falle ist der Kohärer aufserdem in den Stromkreis eines empfindlichen Relais und einer möglichst schwachen Batterie eingeschaltet. Das Relais hat die Aufgabe, den Stromkreis einer stärkeren Batterie zu schliefsen, in welchen der eigentliche Telegraphenempfänger, nämlich ein Morseapparat, sowie eine elektrische Klingel parallel zueinander eingeschaltet sind; die letztere dient dazu, dem Kohärer leichte Er-

schütterungen zu erteilen und damit den durch die elektrischen Wellen erniedrigten Widerstand desselben wieder auf die anfängliche Höhe zu bringen.

Besondere Sorgfalt verwendete Marconi auf die Vervollkommnung des Kohärers. In seinen Händen wurde derselbe nicht allein zu einem ungemein empfindlichen, sondern auch zu einem durchaus zuverlässigen Instrument, dem von seiner ursprünglichen Launenhaftigkeit nichts mehr anhaftete. Vor allem wurden die Dimensionen des Kohärers bedeutend reduziert. Die heutige Gestalt desselben zeigt Fig. 112. In einer Glasröhre von 4 bis 6 cm Länge und 3 bis 4 mm innerem Durchmesser befinden sich zwei nahezu dicht schliefsende Silberzylinder, deren einander zugekehrte, ebene und parallele Endflächen ungefähr einen halben Millimeter weit voneinander entfernt sind. Der Zwischenraum zwischen denselben ist mit Feilspänen gefüllt. Verschiedene Metalle sind verwendbar; am besten eignet sich jedoch nach Marconi eine Mischung von 96 Proz. Nickel- mit 4 Proz. Silberspänen, welch letztere die Empfindlichkeit gegenüber den elektrischen Wellen bedeutend erhöhen sollen. Ein stärkerer Gehalt an Silberspänen steigert zwar die Empfindlichkeit noch mehr, aber die Zuverlässigkeit des Apparates wird dadurch beeinträchtigt; eine geringe Spur von Quecksilber, die kaum hinreicht, um die Endflächen der Silberzylinder zu amalgamieren, trägt ebenfalls zur Erhöhung der Empfindlichkeit bei. Die Breite des Zwischenraums zwischen den Zylindern darf innerhalb gewisser Grenzen variieren; je breiter derselbe, desto gröfser sollen auch die einzelnen Feilspäne sein. Im allgemeinen erreicht man jedoch mit einem engen Zwischenraum eine gröfsere Empfindlichkeit; ein halber Millimeter erwies sich als das geeignetste Mafs. Diesem mufs dann auch die Gröfse der Feilspäne entsprechen; man stellt dieselben mit einer nicht zu feinen, von Fettspuren sorgfältig gereinigten Feile her und sortiert dieselben durch mehrere Siebe, um sowohl die zu feinen wie auch die zu groben Späne auszuscheiden und nur solche von mittlerer, möglichst einheitlicher Gröfse zurückzubehalten. Von diesen bringt man zwischen die Zylinder nur so viele, dafs eine Kompression vermieden und den Spänen, wenn die Röhre durch den Hammer erschüttert wird, eine gewisse Bewegungs-

Fig. 112.



freiheit gewahrt wird. Zwei Platindrähte, die an die äufseren Enden der Zylinder gelötet und in die Glaswandung des Rohres eingeschmolzen sind, vermitteln die Verbindung nach aufsen. Durch einen seitlichen Ansatz wird endlich der Kohärer mit der Luftpumpe verbunden, bis auf etwa $^1/_{1000}$ Atmosphäre evakuiert und vor der Lampe zugeschmolzen.

Der fertige Kohärer mufs noch auf seine Empfindlichkeit geprüft werden; nach Marconi ist derselbe für die drahtlose Telegraphie nur dann geeignet, wenn er auf die Unterbrechungsfunken einer 1 bis 2 m weit von ihm entfernten gewöhnlichen elektrischen Klingel anspricht; sein Widerstand, der im normalen, nicht durch die Wellen beeinflufsten Zustande praktisch so gut wie unendlich grofs sein soll, mufs dabei auf 500 bis 100 Ohm heruntergehen.

Um die Leistungsfähigkeit des Kohärers möglichst ungeschmälert zu erhalten, ist es nach Marconi ratsam, die Stromstärke in demselben niemals die Grenze von 1 Milliampère überschreiten zu lassen; ist ein stärkerer Strom erforderlich, so soll man lieber mehrere parallel geschaltete Kohärer verwenden, zwischen denen der Strom sich verteilen kann. Wie Marconi angibt, ist es ihm auch gelungen, Feilichtröhren herzustellen, welche mehrere aufeinanderfolgende, durch Silberzylinder voneinander getrennte Abteilungen enthalten und darum entsprechend stärkeren elektromotorischen Kräften ausgesetzt werden dürfen. In der Praxis scheint sich jedoch weder diese Art von Serienschaltung, noch die zuvor erwähnte Parallelschaltung mehrerer Kohärer bewährt zu haben. Man zieht es vor, nur schwache Ströme durch den Kohärer zu schicken; dieser hat lediglich die Aufgabe, ein empfindliches Relais in Tätigkeit zu setzen, welches den Stromkreis einer stärkeren Batterie von galvanischen Elementen oder Akkumulatoren schliefst und ihn so lange geschlossen hält, bis die Einwirkung der Wellen auf den Kohärer erloschen und dieser zu seinem hohen Widerstand zurückgekehrt ist. Die von Marconi benutzten Relais waren so reguliert, dafs sie durch einen Strom von 1 Milliampère in Bewegung gerieten; ihr Widerstand betrug 1000 Ohm. Den gleichen Widerstand hatten auch die Elektromagnete des Telegraphenapparats und der elektrischen Klingel, deren Klöppel der Feilichtröhre Erschütterungen zu erteilen hatte. Die Schläge des Klöppels trafen die Feilichtröhre von unten her.

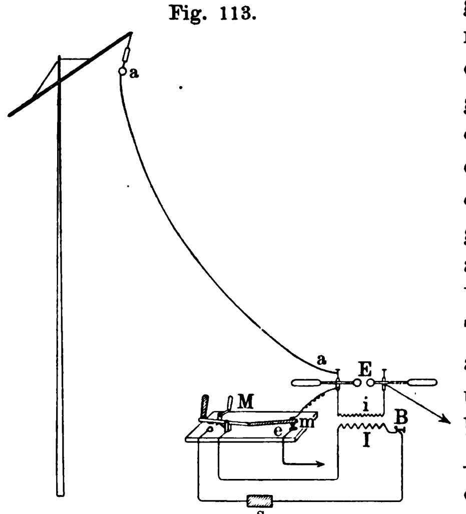
Das Zusammenwirken der verschiedenen Apparate ist nach

dem Gesagten auch ohne weitläufige Erklärung leicht zu verstehen. Wird auf der Sendestation der Telegraphentaster niedergedrückt so tritt der Induktionsapparat in Tätigkeit; die Entladungen desselben erzeugen elektrische Wellen, die annähernd in einer bestimmten Richtung fortschreiten, wenn der Oszillator sich in der Brennlinie eines Reflektors befindet, wogegen sie, wenn der Sekundärdraht des Induktionsapparats zu einer Antenne führt, von dieser nach allen Richtungen ausgestrahlt werden. Im ersteren Falle müssen die Wellen auf den Reflektor des Empfängers dirigiert werden, im andern Falle wird immer ein Teil derselben von der Antenne des Empfängers aufgefangen; auf die eine oder andere Weise treffen sie den Kohärer und verringern dessen Widerstand. Im Stromkreise des Kohärers kommt dadurch ein Strom zu stande, der das Relais in Tätigkeit setzt; die sogenannte Lokalbatterie wird geschlossen und schickt einen entsprechend starken Strom durch den Elektromagneten des Telegraphenapparats, der seinen Anker anzieht und ein Zeichen zu geben beginnt. Gleichzeitig unterliegt aber auch der Klöppel der Anziehung seitens seines Elektromagneten und führt gegen die Feilichtröhre einen leichten Schlag, der ihr den Widerstand zurückgibt; der Strom im Relais verschwindet und damit wird auch der Lokalstrom unterbrochen, welcher den Telegraphenempfänger und den Klöppel in Tätigkeit versetzt hatte. Wenn die Sendestation nur einen momentanen Wellenstofs ausgegeben hätte, so wäre damit alles zu Ende; werden jedoch dem Kohärer weiter elektrische Wellen zugesandt, so beginnt ihre Einwirkung auf diesen alsbald von neuem und der geschilderte Vorgang wiederholt sich so lange, als auf der Sendestation der Telegraphentaster niedergedrückt bleibt. Während dieser ganzen Zeit verharrt auch der Anker des Telegraphenempfängers in der Arbeitsstellung; der Elektromagnet des Telegraphenapparats wird zwar nach dem Gesagten nur von einer Reihe kurz andauernder Ströme durchflossen, aber die Trägheit des Ankers, sowie gewisse Vorrichtungen, von denen später noch die Rede sein wird, sorgen dafür, dafs der Anker des Telegraphenapparats nicht, wie derjenige der Klingel, den raschen Stromschwankungen zu folgen vermag. Die ganze Zeit hindurch wird derselbe also von seinem Elektromagneten angezogen; er kehrt erst dann in seine Ruhestellung zurück, wenn auf der Sendestation der Taster losgelassen wird und damit die Emission von Wellen aufhört. Je nachdem man den Taster für kürzere oder längere Zeit

niederdrückt, lassen sich also, ganz wie bei der gewöhnlichen Telegraphie, auf der Empfangsstation die Zeichen des Morsealphabets hervorrufen.

Bisher haben wir vorausgesetzt, dafs eine Station *B* nur als Empfangsstation für die Depeschen dienen solle, die ihr von einer Station *A* zugesandt werden. In der Praxis genügt dies natürlich nicht, sondern jede von den beiden Stationen mufs in der Lage sein, sowohl nach der anderen Station Depeschen senden, als auch von ihr solche empfangen zu können. Jede von den beiden Stationen mufs also sowohl mit den Sende- wie mit den Empfangsapparaten ausgerüstet sein; doch ist für die beiden Apparate einer Station eine gemeinsame Antenne hinreichend. Damit dieselbe dem einen wie dem anderen Zwecke genügen könne, steht sie dauernd mit einem der Pole des Induktionsapparats und in der Ruhestellung des Telegraphentasters aufserdem auch mit dem Kohärer in Verbindung; drückt man den Taster nieder, um nach der anderen Station ein Zeichen zu übermitteln, so wird die Verbindung des Kohärers mit der Antenne unterbrochen und diese bildet nur noch einen Teil des Sendeapparats. Durch eine über dem Hebel des Tasters angebrachte Arretierung wird verhindert, dafs die Antenne, solange der Sendeapparat funktioniert, überhaupt mit dem Kohärer in Verbindung kommen kann. Eine schematische Darstellung dieser Vorrichtungen gibt Fig. 113.

Fig. 113.

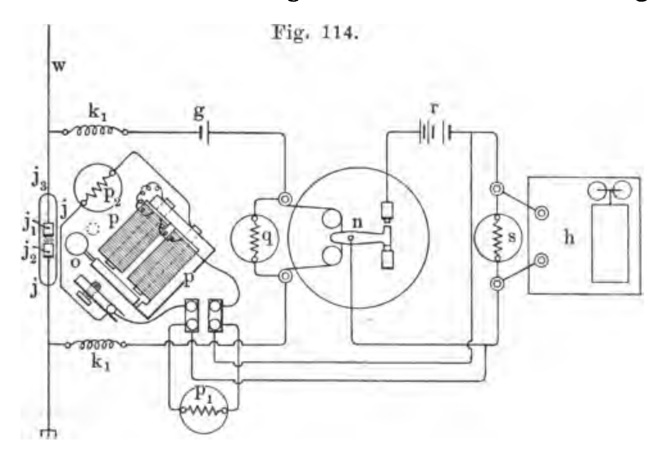


Mit den beschriebenen Apparaten ist übrigens die Einrichtung einer Station für drahtlose Telegraphie noch keineswegs vollständig. Damit dieselbe ihre Aufgabe regelmäfsig erfüllen könne, bedarf es noch einer Reihe von Hilfsvorrichtungen, die teils schon in der ersten Patentschrift Marconis beschrieben sind, teils auf Grund späterer Erfahrungen von ihm oder anderen eingeführt wurden. Bei seinen ersten Versuchen hatte Marconi mit dem Kohärer, um ihn auf die von dem Oszillator erzeugten Wellen abzustimmen,

zwei Streifen von dünnem Kupferbech verbunden, die samt dem Kohärer auf einer in der Brennlinie des auffangenden Reflektors angebrachten Glasröhre befestigt wurden. Die Länge dieser beiden Streifen wurde zusammen mit derjenigen der Kohärerröhre gleich der Länge eines Righischen Resonators gemacht, der unter den gleichen Bedingungen die stärkste Wirkung gab. Diese Ansatzstreifen wurden jedoch wieder beseitigt, als Marconi den Gebrauch des Reflektors aufgab und den Kohärer einerseits mit der Antenne, anderseits mit der Erde in Verbindung brachte.

Dagegen stellte es sich als notwendig heraus, den Kohärer durch besondere Vorrichtungen gegen die Einwirkungen zu schützen, welche von den Unterbrechungsfunken des Relais, der Klingel und

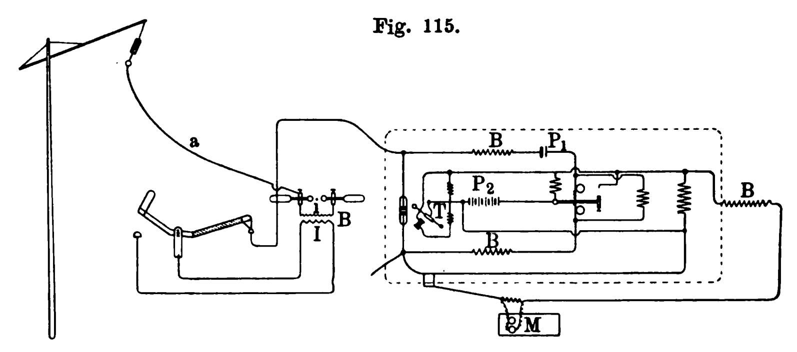
Fig. 114.



des Telegraphenempfängers ausgehen und ganz ebenso wie die auf der anderen Station absichtlich erzeugten Entladungen seinen Widerstand herabsetzen konnten. Um die Entstehung dieser Funken zu verhindern, werden die beiden Leiter, zwischen denen Unterbrechungen stattfinden und Funken auftreten können, durch parallel geschaltete hohe Widerstände dauernd miteinander verbunden. Von den permanenten Strömen, welche die betreffenden Apparate in Tätigkeit setzen, geht durch diese Widerstände nur ein sehr geringer Bruchteil, dagegen können sich nach Marconi die hohen Potentialdifferenzen, welche bei Stromunterbrechungen mitunter zu stande kommen, unschwer durch diese Widerstände hindurch ausgleichen. In Fig. 114, welche die Einrichtung einer vollständigen Empfangsstation schematisch darstellt, sind diese Widerstände mit p_1, p_2, q und s bezeichnet. Der eine von denselben, p_1, ist parallel zum

Elektromagneten der Klingel p geschaltet; ein anderer, p_2, stellt zwischen den Kontakten des Hammers o eine ständige Verbindung her; q und s sind auf ähnliche Weise mit den Elektromagneten des Relais n und des Telegraphenempfängers h verbunden. Die ersten Apparate Marconis hatten aufserdem noch einen Widerstand zwischen den Kontakten der Batterie r, welche den Stromkreis des Empfängers h betätigt. Dieser Widerstand war aus einer Reihe von zugeschmolzenen Röhren gebildet, von denen jede zwei in angesäuertes Wasser tauchende Platindrähte enthielt; den hochgespannten Strömen, welche auf kurze Augenblicke bei der Unterbrechung des Stromkreises entstehen können, sollte dieser Widerstand den Durchgang gestatten, dagegen sollte derselbe infolge der an den Platinelektroden auftretenden elektromotorischen Kraft

Fig. 115.



der Polarisation den Strom der Batterie r aufhalten. Später jedoch wurde dieser Widerstand durch einen anderen ersetzt, der ganz wie die übrigen Widerstände p_1, p_2, q und s aus einem doppelt gewickelten Draht bestand. Alle diese Widerstände sind so reguliert, dafs ein jeder von ihnen das Vierfache des Widerstandes der Elektromagnetwindungen oder überhaupt des Stromkreises beträgt, zu welchem er parallel geschaltet ist. Infolge ihrer Anordnung verhüten sie nicht allein das Auftreten von Funken, sondern sie bewirken zugleich, dafs auch bei geöffnetem Relais die Elektromagnete des Hammers und des Morseempfängers von schwachen Strömen durchflossen sind und deshalb immer einen gewissen Grad von Magnetismus beibehalten. Die beiden Elektromagnete üben dadurch auf ihre Anker beständig eine gewisse Anziehung aus. Dem Hammer gibt diese Anziehung eine gesteigerte Empfindlichkeit; bei dem Telegraphenempfänger bewirkt dieselbe im Verein mit der Trägheit des Ankers, dafs eine rasche Aufeinanderfolge

von Einzelimpulsen nicht als eine Reihe von Punkten, sondern als zusammenhängender Strich wiedergegeben wird.

Sollen die Wellen eine möglichst kräftige Wirkung hervorrufen, so mufs man es ferner verhindern, dafs dieselben, anstatt ausschliefslich den Kohärer zu beeinflussen, ihren Weg zum Teil durch den Stromkreis des Relais nehmen. Zu diesem Zweck wird die Verbindung zwischen dem Kohärer und dem Stromkreis durch zwei kleine Spulen $k_1 k_1$ vermittelt, welche auf Eisenkerne gewickelt sind und zwar einen geringen Widerstand, dafür aber eine hohe Selbstinduktion besitzen, vermöge deren sie den elektrischen Wellen den Durchgang verwehren.

Fig. 115 stellt das Schema einer vollständigen Sende- und Empfangsstation dar. Bis auf den Taster und den Morseempfänger sind sämtliche Apparate in Metallgehäuse eingeschlossen, die zur Erde abgeleitet sind. Auch der Kontakt, mit welchem der Morsetaster den Primärstrom des Induktionsapparats herstellt und unterbricht, ist mit einer zum Erdboden abgeleiteten metallischen Hülle umgeben.

48. Versuche und Erfolge.

Nach einigen vorbereitenden Versuchen, die er auf seinem Landgute bei Bologna angestellt hatte, begab sich Marconi 1896 nach England, um seine Projekte den dortigen Postbehörden vorzulegen. Mit Unterstützung des Chefs des englischen Telegraphenwesens, W. Preece, wurden im Laufe des Sommers und gegen Ende des Jahres 1896 zuerst zwischen dem Londoner Zentralpostamt und einer in 100 Yard Entfernung davon improvisierten Station, dann auf zwei englische Meilen Entfernung Experimente vorgenommen, bei welchen teils parabolische Reflektoren verwendet wurden, teils auch Platten, die mit dem Kohärer zusammen den Resonator bildeten.

Im Mai 1897 wurden Marconis Apparate gleichzeitig mit dem von Preece selbst ausgebildeten System, von welchem an anderer Stelle bereits die Rede gewesen, ausgedehnteren Versuchen unterworfen. Dieselben fanden im Bristolkanal, zwischen Lavernock-Point und Flat Holm, auf eine Entfernung von 5,3 km, und zwischen Lavernock-Point und dem 14 km davon auf der anderen Seite des Kanals gelegenen Brean Down statt. Die Reflektoren wurden hier ganz beseitigt; an ihrer Stelle kamen vertikal in die Luft ragende Drähte zur Verwendung. Der Empfangsapparat wurde in Laver-

nock-Point, 20 m über dem Meeresniveau, aufgestellt; der von einem 27 m hohen Pfahl getragene Auffangedraht führte oben zu einem zylindrischen Hut aus Zinkblech von 1,80 m Höhe und 90 cm Durchmesser; unten war der Draht mit der einen Elektrode des Kohärers verbunden, von der anderen Elektrode desselben ging ein Draht ins Meer. Der Sendeapparat fand auf Flat Holm Aufstellung. Der Luftdraht und der Zinkzylinder waren die gleichen wie auf Lavernock-Point. Zur Erzeugung der Wellen diente ein Ruhmkorffscher Induktor von 50 cm maximaler Funkenlänge, der durch eine Batterie von acht Akkumulatoren gespeist wurde. Am 11. Mai 1897 begannen nach den Versuchen mit dem System von Preece diejenigen mit den Apparaten Marconis. Zunächst waren die Resultate, vielleicht infolge ungenügender Länge der Luftdrähte, wenig versprechend; am nächsten Tage jedoch, als man die Länge der Luftdrähte auf 20 m gebracht hatte, trafen die ersten Signale ein und am dritten Tage, als man die Luftdrähte abermals verlängert hatte, war der Erfolg ein vollständiger. Tags darauf wurde auch zwischen Lavernock-Point und Brean Down die Verbindung hergestellt.

Diese Erfolge lenkten auch anderwärts die Aufmerksamkeit auf das neue Verkehrsmittel. Die italienischen Ministerien des Krieges und der Marine liefsen unter Marconis Leitung vom 11. bis 18. Juli 1897 bei Spezia eine Reihe von Versuchen ausführen. An den ersten drei Tagen wurden Versuche zu Lande angestellt. Bis auf 3,6 km Entfernung war die Verständigung ausgezeichnet. Darauf wurde am 14. Juli zwischen dem an der Ostküste des Golfs von Spezia gelegenen Arsenal von S. Bartolomeo und einem Schleppdampfer telegraphiert, der den Golf durchquerte und dann am linken Ufer desselben entlang fuhr. Der Sendeapparat, der auf einer in der Nähe des Arsenals befindlichen Landzunge unter einem Zelt installiert wurde, bestand aus einem Oszillator mit zwei mittleren Kugeln von 10 cm und zwei äufseren Kugeln von 5 cm Durchmesser und einem durch eine Akkumulatorenbatterie gespeisten Induktor von 25 cm Funkenlänge. Von demselben führte ein 26 m langer Luftdraht etwas schräg aufwärts zu einer von einem Pfahl getragenen Zinkplatte. Der Empfänger befand sich auf dem Hinterteil des Schleppdampfers. Von dem Kohärer führte einerseits ein Draht ins Wasser, anderseits der gewöhnliche Luftdraht zunächst etwas nach aufsen, dann auf der linken Seite des Hinterteiles in schräger Richtung aufwärts zu

einem in der Mitte des Schiffes errichteten 16 m hohen Mast, wo er, wie beim Sendeapparat, in einer Zinkplatte endigte. Die Übertragung gelang bis auf 4 km. Am 15. Juli wurden die Versuche mit den gleichen Apparaten fortgesetzt, nur wurde die Antenne des Senders auf 30 m erhöht. Anfänglich schien es unmöglich, überhaupt Versuche anzustellen, weil der Empfänger, wahrscheinlich unter dem Einflufs naher Gewitterwolken, zu funktionieren begann, ohne dafs von der Sendestation Zeichen abgegeben wurden. Dann aber hörten die Störungen auf und der Schlepper begann wie am vorigen Tage sich immer weiter von der Sendestation zu entfernen, wobei er dieselbe jedoch beständig in Sicht behielt. Bis auf 5,5 km Entfernung waren die Depeschen lesbar. Als jedoch der Schlepper den Kanal durchquerte, so dafs der Castagnavorsprung die direkte Aussicht nach der Sendestation verdeckte, hörten die Signale vollständig auf.

Am 16. Juli wurden die Versuche unter den gleichen Bedingungen wiederholt und förderten ebenfalls ein wichtiges Moment zu Tage. Diesmal behielt der Dampfer die Sendestation beständig in Sicht. Bis auf beinahe 13 km Entfernung waren die Depeschen zu entziffern. Als aber der Dampfer, nachdem er seine Fahrt zunächst noch weiter fortgesetzt hatte, die Rückkehr antrat, schien es, als ob der Empfänger an Empfindlichkeit verloren hätte; erst in einer wesentlich geringeren Entfernung als vorher wurden die von der Sendestation fortwährend ausgegebenen Signale wieder verständlich. Zum Teil rührte diese Erscheinung vielleicht davon her, dafs die Luftdrähte der beiden Stationen nicht senkrecht, sondern schräg, in etwas unregelmäfsiger Krümmung, in die Höhe stiegen; bei der Ausfahrt waren die beiden Kurven einander nahezu parallel gewesen, bei der Rückfahrt dagegen befanden sie sich in weniger günstiger Lage zueinander. Einen Anteil an der geschilderten Erscheinung hatte aber jedenfalls auch der Mast, an welchem der Luftdraht befestigt war; bei der Rückfahrt befand derselbe sich zwischen der Sendestation und dem Auffangedraht und mufste einen Teil der elektromagnetischen Energie, die unter anderen Umständen den letzteren erreicht haben würde, aufhalten oder ablenken.

Noch in stärkerem Mafse trat dieser Einflufs bei den abschliefsenden Versuchen des 17. und 18. Juli hervor. Die Länge des Luftdrahtes der Station S. Bartolomeo wurde diesmal bis auf 34 m erhöht; an Stelle des Schleppdampfers trat das Panzerschiff

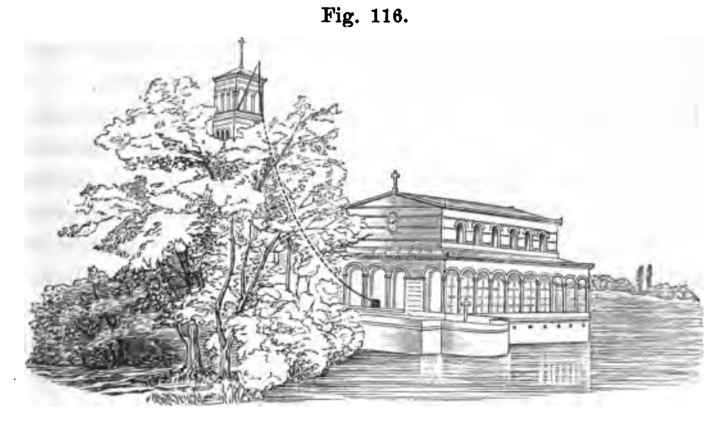
S. Martino; der Auffangedraht erhielt zuerst 17, dann 28 m Länge. Auf der Ausfahrt gelang die Korrespondenz bis auf beinahe 18 km; auf der Rückfahrt dagegen, wo die eisernen Masten und Schlote des Dampfers zwischen den Auffangedraht und die Sendestation traten, kamen die Zeichen erst in geringeren Entfernungen als bei den Versuchen der vorhergegangenen Tage wieder zum Vorschein. Die Ursache hiervon war nicht zu verkennen: auf dem Panzerschiff versperrten viel gröfsere Metallmassen als auf dem Schleppdampfer den Weg von der Sendestation zum Auffangedraht. Dagegen schien die Aufstellung des Kohärers und seiner Hilfsapparate auf dem Panzerschiff nur von geringem Einflufs auf die Übertragung; die Verständigung war, wenn auch nicht so gut wie gewöhnlich, so doch immerhin noch möglich, selbst wenn der Kohärer unter das gepanzerte Deck gebracht wurde, wo er beinahe auf allen Seiten von dicken Metallmassen eingeschlossen war. Auch bei diesen Versuchen wurde die Signalisierung unmöglich, wenn die Sehlinie zwischen den beiden Stationen durch einen Landvorsprung unterbrochen war; als das Schiff hinter den Inseln Tino oder Palma Stellung genommen hatte, kamen keine Signale mehr an, obschon die Entfernung von S. Bartolomeo in der Luftlinie nur 8 km betrug.

Eine wichtige Tatsache, die Marconi bereits aus früheren Beobachtungen geschlossen hatte, wurde durch die Versuche von Spezia ebenfalls bestätigt. Es ist dies der Einflufs der Höhe der Antenne auf die Entfernung, bis zu welcher eine Übertragung stattfinden kann. Nach Marconi gilt hierfür das Gesetz, dafs die Übertragungsgrenze mit dem Quadrat der Höhe der Antennen wächst. Hiernach würde also bei zunehmender Entfernung zwischen den beiden Vertikaldrähten die Deutlichkeit der Zeichengebung keinen Schaden leiden, falls gleichzeitig die Länge der Drähte im Verhältnis der Quadratwurzel aus der Entfernung vergröfsert wird. Würde z. B. die Höhe der Antennen auf beiden Stationen verdoppelt, so wäre damit die erreichbare Grenze der Übertragung vervierfacht. Da nun nach Marconi zum Telegraphieren auf eine englische Meile (etwa 1600 m) Entfernung Antennen von 20 Fufs (etwa 6 m) Höhe ausreichend sind, so könnte man mit Hilfe des angeführten Gesetzes ohne weiteres die für jede gegebene Entfernung erforderliche Höhe der Antennen bestimmen. In Wirklichkeit soll man nach Marconi sogar mit etwas geringeren Höhen auskommen, als sie aus dem angegebenen Gesetze folgen, oder man

kann mit Antennen von bestimmter Höhe auf gröfsere Entfernungen telegraphieren, als es nach jenem Gesetze möglich sein sollte. Anderseits aber gilt das Gesetz nur für die Übertragung über eine durchaus freie Wasserfläche; auf dem Lande, und besonders wenn zwischen den beiden Stationen sich Bodenerhebungen oder auch nur Gebäude oder Bäume befinden, sind für eine bestimmte Entfernung wesentlich höhere Antennen notwendig als über Wasser.

In Deutschland begann Slaby[7]), der den Versuchen Marconis zwischen Lavernock-Point und Flat Holm beigewohnt hatte, unmittelbar nach seiner Rückkehr diese Versuche zunächst zwischen seinem Laboratorium in Charlottenburg und einem nahen Hause

Fig. 116.



zu wiederholen, worauf in den kaiserlichen Gärten bei Potsdam am Havelufer umfangreichere Experimente folgten. Die Apparate unterschieden sich nicht wesentlich von denjenigen Marconis; nur wurden zur Herstellung des Kohärers, der sich gegen atmosphärische Störungen allzu empfindlich gezeigt hatte, gröbere Feilspäne benutzt. Die Empfangsstation, deren Auffangedraht von einem 26 m hohen Mast getragen wurde, befand sich an der Glienicker Brücke; die Sendestation wurde zuerst auf der 3 km weit entfernten Pfaueninsel, dann, als sich diese Lokalität als wenig geeignet herausgestellt hatte, bei der nur 1,6 km von der Sendestation entfernten Sakrower Kirche installiert. An der obersten Plattform des Glockenturmes wurde, wie in Fig. 116 zu sehen, ein Mast befestigt und an seinem Ende, 23 m über dem Erdboden, mit Hilfe eines Isolators ein Kupferdraht aufgehängt, der herab unter den Säulengang der Kirche führte; dort wurde der Sendeapparat auf-

gestellt. Die Verständigung war tadellos, ausgenommen in einem Falle, als der Sendeapparat, um ihn gegen den Regen zu schützen, tiefer unter den Eingang der Kirche gerückt wurde und der Sendedraht infolgedessen ein Stück weit auf geringen Abstand der Erde parallel war. Auch als der Sendedraht an eine andere Stelle transportiert wurde, wo sich vor demselben oder in seiner unmittelbaren Nähe Bäume befanden, traten Störungen auf. Nach Slaby sollen die Antennen der beiden Stationen gegenseitig in Sicht sein; schon die Segel eines Bootes oder der Rauch eines kleinen Dampfers, welcher zwischen den beiden Stationen hindurchfuhr, sogar ein zu starker Wind lenkten manchmal die Signale ab. Für eine gute Verständigung ist es ferner wesentlich, dafs die beiden Drähte gleiche Länge haben. Wie bei den Versuchen in Spezia, so stellte es sich auch hier heraus, dafs Terrainerhebungen zwischen den beiden Stationen die Signalgebung beeinträchtigten.

Im Oktober 1897 schritt Slaby zu gröfseren Versuchen über freiem Terrain. Als Empfangsstation wurde der Schöneberger Schiefsplatz bei Berlin, als Sendestation der 21 km weit davon entfernte militärische Übungsplatz in Rangsdorf gewählt. Um genügend lange Antennen zu gewinnen, wurden auf beiden Stationen Fesselballons verwendet, die man bis zu etwa 200 bis 280 m Höhe über dem Erdboden steigen liefs. Zunächst dienten als Luftdrähte auf beiden Stationen die Stahldrahtseile, durch welche die Ballons gehalten wurden; dieselben waren lediglich am oberen Ende vom Ballon und am unteren Ende von der Erde durch Stücke Hanfseil isoliert und unten durch blanken Kupferdraht mit den Apparaten verbunden. Auf diese Weise kam man zu keiner guten Verständigung; auch ein Fernsprechkabel aus Stahldraht (Doppeldraht mit Drall) beim Empfänger lieferte kein wesentlich günstigeres Ergebnis. Erst als das Seil des Fesselballons ganz auf seine eigentliche Aufgabe, das Festhalten des letzteren, beschränkt und vom Ballon aus ein Kupferdraht zur Erde herabgelassen wurde, erfolgte die Übertragung der Zeichen klar und deutlich und die Verbindung liefs nichts zu wünschen übrig, solange das Wetter gut blieb. Schlechtes Wetter jedoch, und besonders elektrische Vorgänge in der Atmosphäre, verursachten noch stärkere Störungen, als dies bei den früheren Versuchen der Fall gewesen war; von den Luftdrähten gingen mitunter so heftige Entladungen aus, dafs die mit der Bedienung der Apparate beschäftigten Personen ernstlich gefährdet waren. Derartige Störungen müssen sich natürlich um so

mehr geltend machen, je länger mit dem Zunehmen der Entfernung, auf die telegraphiert werden soll, die Luftdrähte sein müssen. Die geschilderten Versuche hatten demnach zwar zum erstenmal überhaupt die Möglichkeit einer drahtlosen Telegraphie auf so beträchtliche Entfernungen dargetan, sie hatten aber auch gezeigt, daſs bei schlechtem Wetter, solange sich kein Mittel zur Beseitigung der bezeichneten Gefahren fände, der Verkehr gänzlich unterbrochen werden müſste.

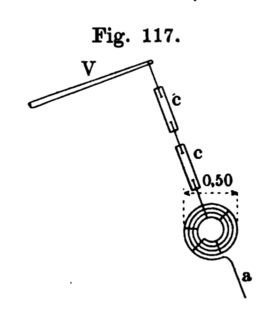
Glücklicherweise haben sich die bei den gewöhnlichen Telegraphenanlagen gegen die Gefahren der atmosphärischen Entladungen benutzten Vorrichtungen auch bei der drahtlosen Telegraphie als wirksam erwiesen. Diese Gefahren selbst sind zudem bedeutend geringer geworden, nachdem die fortschreitende Vervollkommnung der Apparate, insbesondere des Kohärers, im Vergleich mit den ersten Versuchen eine bedeutende Verminderung der für bestimmte Entfernungen erforderlichen Länge der Luftdrähte ermöglicht hat. Es würde uns zu weit führen, wenn wir die schrittweisen Verbesserungen auf diesem Gebiete alle beschreiben oder die Anlagen, welche von der zur Ausbeutung der Erfindungen Marconis gegründeten „Wireless Telegraph and Signal Company“ teils zu Versuchs-, teils zu Verkehrszwecken geschaffen wurden, einzeln schildern wollten. Wir müssen uns deshalb auf die Mitteilung des Wichtigsten beschränken.

Im Juli 1898 erhielt eine Dubliner Zeitung über den Verlauf der bei Kingstown stattfindenden Regatten fortlaufende Berichte durch eine in Kingstown etablierte Empfangsstation für drahtlose Telegraphie; die Sendestation befand sich auf einem Dampfer, der den Wettkampf von der Nähe aus verfolgte. Im August desselben Jahres blieb der Prinz von Wales auf seiner Jacht während einer Fahrt in der Nähe der Insel Wight in beständiger Verbindung mit dem Schlosse von Osborne; die auf der Jacht errichtete Antenne hatte eine Höhe von 25 m über der Kommandobrücke; diejenige beim Schlosse war 31 m hoch. Die Verbindung gelang bis auf 13,5 km Entfernung, obwohl die beiden Stationen mitunter durch einen 50 m hohen Hügel voneinander getrennt waren.

Wichtige Versuche fanden im Juni 1899 zwischen der Leuchtturmstation von South Foreland bei Dover und einer auf der anderen Seite des Kanals bei Wimereux in der Nähe von Boulogne errichteten Station statt. Wir werden später noch Veranlassung haben, auf diese Versuche zurückzukommen, deren Aufgabe zum

Teil darin bestand, die Möglichkeit einer auf Syntonie, d. h. auf die Verwendung abgestimmter Sende- und Empfangsapparate, gegründeten gleichzeitigen und ungestörten Telegraphie zwischen mehreren Stationen zu erproben. Gleichwohl dürfen dieselben auch hier nicht unerwähnt bleiben. Die beiden Stationen waren 46 km weit voneinander entfernt. Die Antennen, deren Höhe anfangs 45 m betragen hatte, später aber auf 37 m vermindert wurde, bestanden aus sieben zu einem Kabel vereinigten Kupferdrähten von 0,9 mm Dicke mit Guttaperchaisolierung. Oben führte jede Antenne zu einer Spirale aus blankem Kupferdraht, die, wie Fig. 117 zeigt, durch Vermittelung zweier Ebonitzylinder *cc* und einer Stange *V* an einem Pfahl befestigt war, der durch Stricke festgehalten wurde. Die letzteren waren derart verteilt, dafs sie die gerade Linie zwischen den Antennen, auf der sich auch kein anderes Hindernis befand, vollkommen frei liefsen. Aufser zwischen diesen beiden Stationen wurden auch mit dem 19 km von South Foreland entfernten Feuerschiffe „Goodwind“, das eine Antenne von 24 m Höhe hatte, sowie mit dem Aviso „Ibis“ und dem Transportschiff „La Vienne“, welche provisorische Installationen mit Antennen von 22, bezw. 31 m Höhe erhalten hatten, Signale ausgetauscht.

Fig. 117.



Wie schon gesagt, interessieren uns hier nur diejenigen Versuche, bei welchen lediglich je ein Paar von Sende- und Empfangsapparaten in Tätigkeit trat. Selbst bei Nebel, Regen und Sturm wurden Nachrichten von South Foreland nach Wimereux oder Goodwind, sowie in umgekehrter Richtung ungestört übermittelt. Den gleichen Erfolg hatten die Versuche über offenem Meer zwischen den genannten Stationen und dem „Ibis“ oder der „Vienne“, mochten diese nun vor Anker liegen oder sich auf der Fahrt befinden. Zwischen „Ibis“ und „Goodwind“ wurde bis auf 20 km, zwischen „Ibis“ und South Foreland auf 25 bis 30 km, zwischen der „Vienne“ und South Foreland, wenn die erstere als Sendestation fungierte, bis auf 48 km Entfernung telegraphiert; in umgekehrter Richtung gelang die Verständigung in einem Falle sogar noch, als die „Vienne“ sich 52 km weit von South Foreland befand. War die gerade Linie zwischen den beiden Stationen durch Hindernisse unterbrochen, so blieb die Verständigung natür-

lich nur auf geringere Entfernung möglich. Gleichwohl konnte der „Ibis“, dessen Antenne 22 m hoch war, mit der Station von Wimereux, deren Antenne bei diesem Versuch eine Höhe von 45 m hatte, noch Depeschen austauschen, als die 19 km lange Strecke zwischen den beiden Stationen durch den 100 m hohen Vorsprung des Kap Gris Nez unterbrochen war. Erwähnung verdient auch die Tatsache, dafs Wimereux mit der „Vienne“ verkehren konnte, als diese im Hafen von Boulogne vor Anker lag; die gerade Linie zwischen den beiden Stationen war allerdings in diesem Falle nur 5 km lang, aber durch das 75 m hohe Massiv von Crêche und die zahlreichen elektrischen Leitungen des Hafens von Boulogne unterbrochen.

Im September des Jahres 1899 hielt die „British Association for the Advancement of Science“ ihre Jahresversammlung in Dover ab, während gleichzeitig in Boulogne die „Association Française pour l'Avancement des Sciences“ tagte. An beiden Plätzen wurden Stationen für drahtlose Telegraphie installiert; und wenn es auch nicht möglich war, unmittelbar von der einen zur anderen zu telegraphieren, so wurden doch durch Vermittelung der Station von Wimereux zwischen den beiden Kongressen Telegramme ausgetauscht. Von Dover aus wurde ferner, während eines Vortrages von Fleming über das Jubiläum des elektrischen Stromes, an den zur Feier desselben Ereignisses in Como versammelten internationalen Elektrikerkongrefs ein Grufs gesandt, der durch drahtlose Telegraphie von Dover nach Wimereux und von da aus per Draht bis nach Como gelangte und alsbald auf dem gleichen Wege erwidert wurde. Die ausgedehnten Felsmassen und Klippen auf der geraden Linie zwischen Dover und Wimereux beeinträchtigten die Verbindung keineswegs.

Später trat Wimereux auch mit zwei anderen in der Provinz Essex errichteten Stationen in direkte Verbindung. Für die eine dieser Stationen wurde das an der Küste gelegene Harwich, für die andere das 15 km weit im Innern gelegene Chelmsford gewählt. Beide Stationen sind 136 km weit von Wimereux entfernt; die Linie zwischen Harwich und Wimereux liegt aber, mit Ausnahme eines 8 km langen Stückes, welches die Spitze von North Foreland schneidet, vollständig über dem Meer, wogegen die Linie von Chelmsford nach Wimereux zur Hälfte über Land geht und deshalb wahrscheinlich für die drahtlose Telegraphie weniger günstige Verhältnisse bietet. Dennoch hatten die Versuche, zu

denen Antennen von 45 m Höhe verwendet wurden, günstige Ergebnisse.

Versuche mit drahtloser Telegraphie zwischen Chamounix und dem von Vallot auf dem Gipfel des Mont Blanc errichteten Observatorium wurden im Sommer 1899 von den Brüdern Lecarme[8]) vorgenommen. Die Bedeutung dieser Versuche liegt nicht so sehr in der Entfernung, die nur 12 km beträgt, als vielmehr in der grofsen Höhendifferenz zwischen den beiden Stationen, von denen sich die eine 1000, die andere 4350 m über dem Meere befindet. Die gerade Linie zwischen denselben ist durch kein Hindernis unterbrochen. Der Sendeapparat wurde in Chamounix aufgestellt und erhielt eine 25 m lange Antenne, die mit der Horizontalen einen Winkel von 60° bildete. Die Versuche gelangen gut und wurden weder durch die Wolken, noch durch atmosphärische Entladungen gestört; nur des Abends, wenn in Chamounix die elektrische Beleuchtung in Tätigkeit trat, waren die Telegramme nicht verständlich. In den bayerischen Alpen, zwischen dem Eibsee und dem 2000 m oberhalb desselben gelegenen Observatorium auf der Zugspitze, besteht heute ebenfalls eine von der „Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft“ eingerichtete drahtlose Verbindung, die ihre Aufgabe vollkommen erfüllt.

Die Übermittelung von Nachrichten von der Erde aus an einen Luftballon bildete im Jahre 1899 den Gegenstand von Versuchen im österreichischen und später auch im französischen Heere. Die Sendestation befand sich in beiden Fällen auf der Erde; die Antenne, deren Länge bei den österreichischen Versuchen 150, bei den französischen 40 m betrug, wurde von einem besonderen Fesselballon getragen; die Antenne des Empfangsapparates, die im ersteren Falle 20, im zweiten 50 m lang war, hing frei von dem Ballon herab, in dessen Korb die Empfangsapparate Aufstellung gefunden hatten. Die gröfste Entfernung, auf welche signalisiert werden konnte, betrug bei den französischen Versuchen 6 km, wobei der Ballon mit der Empfangsstation sich 800 m über dem Erdboden befand; bei den österreichischen Versuchen hörte die Übertragung, vielleicht infolge des ruhigeren Wetters und der gröfseren Länge der Sendeantenne, erst dann auf, als der Ballon 1600 m hoch gestiegen und über 10 km weit von der Ausgangsstelle entfernt war. Ähnliche Versuche, wie die beschriebenen, hatten schon vorher auch in der deutschen Armee stattgefunden, doch ist über dieselben nichts Zuverlässiges bekannt geworden. Wie es heifst, soll die

Verständigung von der Erde aus nach dem Ballon in einem Falle noch gelungen sein, als der Ballon sich 45 km weit von der Sendestation entfernt hatte.

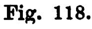
Unter den Aufgaben der drahtlosen Telegraphie ist die Verständigung zwischen den Schiffen und den Küstenstationen, sowie auch von Schiffen untereinander — man denke z. B. an die Befehlserteilung an die einzelnen Schiffe einer Schlachtflotte — von besonderer Wichtigkeit. Hierauf bezügliche Versuche wurden im Oktober 1899 in der Marine der Vereinigten Staaten unter Marconis persönlicher Leitung vorgenommen. Die Apparate wurden auf dem Kreuzer „New York" und dem Panzerschiff „Massachusetts" installiert, und obschon dieselben nicht mit all den zu dieser Zeit bereits vorhandenen Verbesserungen versehen werden konnten, gelang es der „Massachusetts" doch, dem Kreuzer „New York" bis auf 57 km Entfernung Nachrichten zu übermitteln; in entgegengesetzter Richtung hörte die Verständigung allerdings schon bei etwas über 27 km Entfernung auf. An einem anderen Versuchstage trat das Umgekehrte ein. Trotzdem lautet der über diese Versuche erstattete Bericht im allgemeinen günstig.

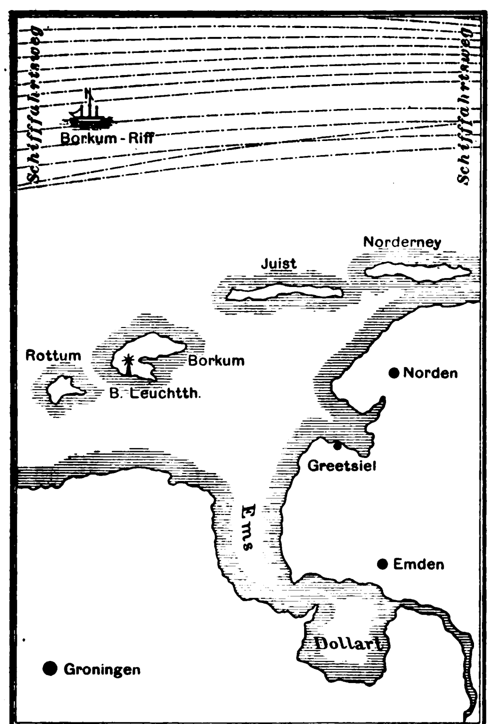
Bessere Ergebnisse wurden während der englischen Seemanöver desselben Jahres erzielt. Die Signale waren meist noch auf 50, manchmal bis auf 80 und in einem Falle sogar bis auf 100 km Entfernung verständlich. Von den in diesem Falle miteinander verkehrenden Schiffen war das eine mit einer Antenne von 45 m Höhe, das andere sogar mit einer Antenne von nur 38 m Höhe ausgerüstet. Berücksichtigt man die Krümmung der Erde, so hätten die Antennen, wenn eine gerade Linie zwischen den Spitzen derselben oberhalb des Wassers bleiben sollte, mehr als 200 m Höhe haben müssen. Zwischen den tatsächlich verwendeten Antennen befand sich also eine dicke Wasserschicht. Durch eine solche konnten die elektrischen Wellen schwerlich hindurchdringen; man mufs also annehmen, dafs dieselben durch Beugung längs der Oberfläche des Wassers ihren Weg gefunden haben.

Während der englischen Flottenmanöver des Jahres 1900 vermochten die beiden Schiffe „Juno" und „Europa" bis auf 136 km Entfernung Nachrichten miteinander auszutauschen. Vorher schon hatte die englische Admiralität mit der Marconigesellschaft einen Vertrag auf Einrichtung von 32 Stationen für drahtlose Telegraphie abgeschlossen, die teils auf Kriegsschiffen, teils in den Häfen Aufstellung finden sollten. Der Vertrag enthielt die Bedingung, dafs

die Apparate den Austausch von Nachrichten zwischen zwei Schiffen ermöglichen sollten, von denen das eine bei Portland, das andere 65 Meilen von jenem entfernt und durch den Höhenzug von Dorsetshire von demselben geschieden, im Hafen von Portsmouth Aufstellung nehmen sollte. „Die Bedingung wurde in befriedigender Weise erfüllt.

Die Marine anderer Länder, namentlich Deutschlands, ist in der Verwertung der drahtlosen Telegraphie nicht hinter derjenigen Englands zurückgeblieben. In Deutschland verwendet man meist nicht die Apparate der „Wireless Telegraph and Signal Company“, sondern andere Systeme, von denen erst später die Rede sein wird. Eine wichtige Anlage, welche seit Mai 1900 zwischen dem Leuchtturm auf der Insel Borkum und dem Leuchtschiff Borkum-Riff (s. das beistehende Kärtchen, Fig. 118) im Betrieb steht, ist allerdings mit den Marconischen Apparaten ausgestattet. Ihre Entstehung verdankt diese Anlage der Initiative des „Norddeutschen Lloyd“, für welchen es von besonderer Wichtigkeit ist, von der bevorstehenden Ankunft seiner von jener Seite her auf der Fahrt nach Bremen begriffenen Dampfer so früh als möglich benachrichtigt zu werden. Der Leuchtturm auf der Insel Borkum ist durch eine Leitung an die nach Emden führende Telegraphenlinie angeschlossen; vom Leuchtturm bis zum Leuchtschiff beträgt die Entfernung ungefähr 21 Seemeilen (39 km). Die Antenne beim Leuchtturm ist 38 m, diejenige auf dem Schiff ist 30 m hoch;


Fig. 118.



diejenige des Leuchtturms besteht auf eine Länge von 20 m aus einem 1 m breiten Streifen Drahtnetz, im übrigen aus einem Seil von verzinntem Kupferdraht; die Antenne auf dem Schiff ist ganz aus Drahtseil hergestellt. Der Einfluſs der atmosphärischen Entladungen, die namentlich beim Leuchtturm anfangs zu häufigen und schweren Störungen Veranlassung gegeben hatten, wurde mit Hilfe von Vorrichtungen, die wir später kennen lernen werden, beseitigt. Jede von den beiden Stationen ist mit den Apparaten zur Aufnahme wie zur Absendung von Depeschen ausgerüstet. Von der Eröffnung des regelmäſsigen Betriebes um Mitte Mai 1900 bis zum Ende desselben Jahres erhielt die Station auf dem Leuchtschiff von vorüberfahrenden Schiffen 582 Telegramme mit insgesamt mehr als 7000 Worten; 53 Telegramme mit 730 Worten wurden von dem Leuchtschiff aus an vorüberfahrende Schiffe übermittelt und 20 Telegramme mit 290 Worten gingen von Schiffen direkt an die Leuchtturmstation. Der Dampfer „Kaiser Wilhelm der Groſse" tauschte mit der schwimmenden Station noch bei 74 km Entfernung Nachrichten aus und erhielt deutliche Zeichen noch bis auf 93 km Entfernung. Es braucht nicht hervorgehoben zu werden, von welcher Wichtigkeit ein vom Zustand des Meeres unabhängiges Verkehrsmittel auch für den Dienst und die Mannschaft eines Leuchtschiffes selbst ist. So wollen wir nur erwähnen, daſs das Leuchtschiff Borkum-Riff während eines Sturmes von seiner Ankerkette gerissen und ins Meer hinausgetrieben wurde; hätte nicht der Unfall durch drahtlose Telegraphie nach Borkum gemeldet und Hilfe herbeigerufen werden können, so wäre wahrscheinlich die Mannschaft des Schiffes verloren gewesen. Ein anderes Mal erhielt ein französischer Dampfer in der Nähe von Dünkirchen, an einer durch ihre Untiefen gefährlichen Stelle, durch drahtlose Telegraphie die Mitteilung, daſs der Leuchtturm Schaden gelitten habe und in der folgenden Nacht seinen Dienst nicht würde versehen können; dank dieser Mitteilung vermochte der Dampfer nach seinem Eintreffen im Hafen für Hilfe zu sorgen.

Für eine vollständige Chronik der Erfolge, deren die drahtlose Telegraphie heute bereits eine stattliche Reihe aufzuweisen hat, ist hier kein Platz. Nur bei einem Punkte wollen wir noch kurz verweilen: bei den Entfernungen, bis zu welchen neuerdings mit Hilfe der drahtlosen Telegraphie Nachrichten übermittelt worden sind. Im allgemeinen sind diese Entfernungen im Innern der Kontinente weniger groſs als auf dem Meere, wo die Ver-

hältnisse für die drahtlose Telegraphie am günstigsten liegen. Die Versuche einer drahtlosen Telegraphie zwischen Europa und Amerika, die sich bislang auf die Übertragung vereinbarter Zeichen zu vorher festgesetzten Stunden beschränkten, sind an anderer Stelle kurz erwähnt worden. Gröfsere Aufmerksamkeit verdienen die Experimente, die während einer Fahrt des Dampfers „Philadelphia“ von Europa nach Amerika zwischen diesem und der Station von Poldhu in Cornwall stattfanden und wobei der Dampfer bis auf mehr als 1500 Meilen (etwa 2400 km) Entfernung verständliche Mitteilungen, bis auf nahezu 2100 Meilen (etwa 3300 km) noch schwache Zeichen erhielt. Diese Versuche ergaben zugleich die merkwürdige Tatsache, dafs die Übertragung, die bei Nacht bis auf 1500 Meilen gelang, bei Tage schon auf 700 Meilen versagte — wie Marconi annimmt[9]), infolge der entladenden Wirkung des Tageslichtes auf die mit hochgespannter Elektrizität geladene Antenne des Senders. Bemerkenswert sind ferner die anläfslich des Besuches des Königs von Italien in Petersburg unter Marconis persönlicher Leitung vorgenommenen Versuche auf bedeutende Entfernungen, die sich zum grossen Teile über festes Land erstreckten. Von Wichtigkeit sind endlich die Experimente, welche von der „Marconis International Marine Communication Company“ zwischen der südfranzösischen Küste und der Insel Corsica angestellt wurden. Die festländische Station wurde bei Biot, in der Nähe von Antibes, an der Küste der Provence, errichtet; auf der Insel Corsica wurde Calvi gewählt. Beide Stationen liegen beinahe im Meeresniveau, weniger als 200 m von der Küste; die Entfernung zwischen denselben beträgt 175 km. Die Antennen hatten beiderseits 52 m Höhe und jede von ihnen bestand aus vier parallel geschalteten Drahtseilen, die die Kanten eines Prismas mit quadratischer Basis von 1,5 m Seite bildeten. Die Erdverbindungen wurden durch Zinkplatten von 20 bis 30 qm Fläche hergestellt, die in horizontaler Lage etwa 50 cm tief in den Boden vergraben wurden. Nach der Angabe von Zeugen wurden höchst bemerkenswerte Resultate erhalten. Die abgesandten Depeschen kamen stets fehlerfrei an; die Striche und Punkte des Morsealphabets waren immer deutlich voneinander getrennt, obschon gewöhnlich mit einer Geschwindigkeit von 6 bis 8, manchmal auch mit einer Geschwindigkeit von 10 bis 12 Worten in der Minute telegraphiert wurde. Dagegen wurde die erstrebte Syntonie anscheinend nur sehr unvollkommen erreicht; nicht selten geschah es, dafs der Em-

pfangsapparat die Depeschen registrierte, die von fremden, mehr als 30 km von der Station entfernten Kriegsschiffen untereinander ausgetauscht wurden.

Die Entfernung von 175 km zwischen Biot und Calvi bezeichnet übrigens — auch abgesehen von den gelegentlichen Experimenten, von denen bereits die Rede gewesen — keineswegs die Grenze des bisher Erreichten. Marconi selbst hat inzwischen vom Kap Lizard nach der Insel Wight, auf eine Entfernung von 300 km, Nachrichten übermittelt und in Deutschland haben Slaby und Braun mit Apparaten ihrer Systeme bis auf 300, bezw. 200 km Entfernung telegraphiert. Auch Marconis System hat in den wenigen Jahren seines Bestehens mannigfache Abänderungen und technische Vervollkommnungen erfahren, denen es zum Teil die geschilderten Erfolge verdankt. Gleichzeitig damit sind noch andere Systeme oder Vorschläge zu solchen aufgetaucht, die sich von der im vorigen Kapitel beschriebenen Anordnung mehr oder minder weit entfernen. Ein Urteil über diese verschiedenen Systeme wird sich erst gewinnen lassen, wenn wir die in der drahtlosen Telegraphie benutzten Apparate und die Art ihres Funktionierens eingehender kennen gelernt haben werden.

49. Telegraphie durch Ausbreitung elektrischer Wellen im Wasser und in der Erde.

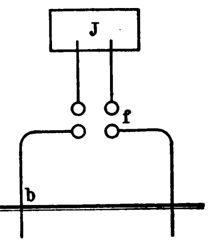
Im ersten Kapitel dieses Teiles hatten wir über Versuche berichtet, welche dem Gebiete der Telegraphie durch elektrische Leitungsströme angehören, die Mitteilung dieser Ströme aber nicht durch eigens für diesen Zweck bestimmte Drähte, sondern durch das Erdreich oder die dasselbe bedeckenden Wassermassen bewirken sollten. Diese Versuche, die zum Teil bis in die Anfänge der elektrischen Telegraphie zurückreichen, wurden ungeachtet einiger praktischer Erfolge verlassen, als man in den durch die Luft sich ausbreitenden Hertzschen Wellen ein Übertragungsmittel von wunderbarer Leistungsfähigkeit kennen gelernt hatte, vor dem jede Entfernung in Nichts zu versinken schien. Freilich blieb es nicht lange verborgen, dafs der Verkehr mittels elektrischer Wellen sich am leichtesten gestaltete und dafs die Entfernung, auf welche Nachrichten übermittelt werden konnten, am gröfsten ausfiel, wenn zwischen den beiden Stationen sich nur eine zusammenhängende Wasserfläche befand; über einer durch Boden-

erhebungen unterbrochenen Wasserfläche oder gar im Innern der Kontinente waren oft nur viel geringere Entfernungen zu erreichen, weil die Unregelmäfsigkeiten und Erhebungen des Bodens die Wellen zu schwächen oder abzulenken schienen. Anderseits war es aber auch nicht ausgeschlossen, dafs die Wellen sogar in das Wasser oder das Erdreich selbst eindrangen und sich darin ausbreiteten und dafs diese Ausbreitung unter günstigeren Bedingungen als diejenige der konstanten Ströme für die Übermittelung von Signalen verwertbar sein konnte. Ein Blick auf Fig. 94 (S. 241) mag uns davon überzeugen. Dieselbe stellt die Linien gleichen Potentials und die Stromlinien in einer homogenen leitenden Masse, in welche zwei mit einer Elektrizitätsquelle verbundene Metallplatten tauchen, unter der Voraussetzung dar, dafs die Elektrizitätsquelle konstante oder allenfalls in langsamem Rhythmus unterbrochene Ströme liefert. Treten an deren Stelle sehr rasch wechselnde Ströme oder elektrische Wellen, so ändert sich das Bild. Eine Vorstellung von diesen Veränderungen erhalten wir, wenn wir uns erinnern, dafs ein konstanter Strom, der in einem zylindrischen Leiter, z. B. einem gewöhnlichen Draht, fliefst, den Querschnitt desselben gleichmäfsig erfüllt, während ein Wechselstrom in eine gewisse Tiefe des Leiters überhaupt nicht eindringt, sondern auf eine Oberflächenschicht beschränkt bleibt, deren Dicke um so geringer ist, je rascher die Stromwechsel aufeinander folgen. Etwas Ähnliches mufs nun stattfinden, wenn in eine grofse Wassermasse zwei Metallplatten tauchen, denen elektrische Schwingungen oder rasch alternierende Wechselströme zugeführt werden; nur werden in diesem Falle die Stromlinien nicht allein auf eine Oberflächenschicht beschränkt sein, sondern sie werden auch innerhalb derselben sich möglichst weit voneinander zu entfernen streben, wie wenn zwischen ihnen eine Art von gegenseitiger Abstofsung bestände. In entsprechendem Mafse mufs darum auch die seitliche Entfernung von den beiden Platten zunehmen, bis zu welcher sich die Wirkung derartiger Ströme fühlbar macht.

Diese Überlegungen bilden den Ausgangspunkt der Versuche über drahtlose Telegraphie durch Wasser, die Braun im Jahre 1898 vorgenommen hat[10]). Nach Braun sind im Wasser schon in einer Tiefe von weniger als zwei Metern unterhalb der Zuleitungsstelle keine elektrischen Wellen von merklicher Intensität mehr vorhanden. Im Vergleich mit den konstanten Strömen bieten die elektrischen Wellen nach Braun ferner den Vorteil, dafs die

Übermittelung von Signalen mit ihrer Hilfe nur eine irgendwie zusammenhängende Wasserfläche erfordert, dafs dagegen Inseln oder Halbinseln, auch wenn sie sich weit ins Wasser hinein erstrecken, hoch aus demselben emporragen und mit Gebäuden oder Bäumen bedeckt sind, der Übertragung kein Hindernis bereiten.

Fig. 119.



Um die elektrischen Wellen dem Wasser zuzuführen, bediente sich Braun der in Fig. 119 dargestellten Anordnung. In einer gewissen Entfernung voneinander tauchen in das Wasser zwei Leiter, die aufserhalb in Kugeln endigen, auf welche von einem Induktionsapparat J Funken überspringen. Die Ladungen, welche auf diese Weise den in das Wasser tauchenden Drähten zugehen, erzeugen in diesen elektrische Störungen, die sich zum Teil in der Luft ausbreiten, zum Teil aber auch in das Wasser übergehen müssen.

Statt der einfachen Anordnung der Fig. 119 benutzte Braun zu seinen Versuchen auch kompliziertere Anordnungen mit Kondensatoren. Besonders wirksam erwies sich — aus Gründen, die wir erst später kennen lernen werden — die in Fig. 120 skizzierte Anordnung. c und c_1 sind zwei Kondensatoren, die durch einen Induktionsapparat geladen werden, s ist eine Selbstinduktion. An der Empfangsstation führen zwei ins Wasser getauchte Leiter zu einem Stromkreis, der aus einem Kondensator, dem Kohärer, seiner Batterie und dem Relais oder Stromanzeiger zusammengesetzt ist. Fig. 121 und 122 zeigen zwei verschiedene Anordnungen dieser Empfangsstation; k ist der Kohärer, e das galvanische Element oder die Batterie, s die Vorrichtung, welche das Auftreten eines Stromes in dem Kohärerstromkreis anzeigt, und c der Kondensator.

Fig. 120.

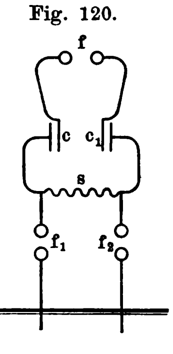


Fig. 121.

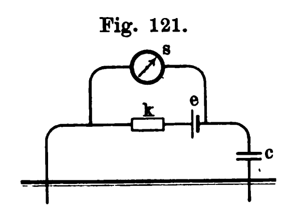
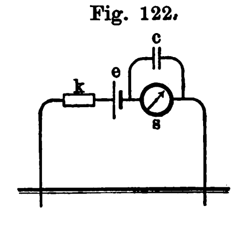
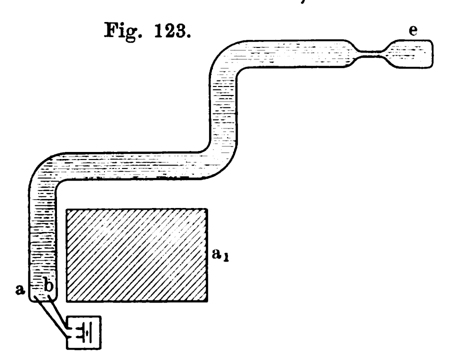


Fig. 122.



Die ersten Versuche, welche lediglich den Nachweis einer Übertragung liefern sollten, die weder durch gewöhnliche Leitung im Wasser, noch durch Induktion zwischen geschlossenen Stromkreisen wie bei Preece, noch auch durch die Ausbreitung elektrischer Wellen in der Luft vermittelt wurde, fanden im Sommer 1898 in den ehemaligen Strafsburger Festungsgräben statt. Einer von diesen Gräben hatte die in Fig. 123 abgebildete Gestalt. Die Sendestation wurde an einem Ende des Grabens, an der mit *ab* bezeichneten Stelle, in der Nähe eines mit hohen Gebäuden bedeckten rechteckigen Terrains errichtet; durch die Gebäude war nach Braun die Möglichkeit einer direkten Übertragung von Wellen durch die Luft beinahe ausgeschlossen. In der Tat blieb die Übertragung, während die Empfangsstation mit ihren beiden in das Wasser tauchenden Drähten weiter und weiter von der Sendestation entfernt wurde, immer vollkommen deutlich, solange die Drähte in die grofse Wassermasse des eigentlichen Grabens tauchten; dagegen sank die Intensität der Signale sofort bedeutend, als die Empfängerdrähte in das Bassin *e* gebracht wurden, welches mit dem eigentlichen Graben nur durch einen 1 m breiten und wenige Zentimeter tiefen Kanal in Verbindung steht. Auch in diesem Falle vermochte man übrigens durch entsprechende Änderung der Selbstinduktion des Senders den Signalen die ursprüngliche Intensität wiederzugeben.

Fig. 123.



Andere Versuche fanden auf einer gröfseren Wasserfläche statt. Die Empfängerdrähte wurden zuerst seitlich von den Drähten der Sendestation, auf der Verlängerung der diese letzteren miteinander verbindenden Geraden, und zwar beide auf der nämlichen Seite, in das Wasser versenkt, also in einer Lage, welche nach dem Diagramm der Fig. 94 für die Übertragung durch gewöhnliche Ströme im Wasser so ungünstig als möglich war. Hierauf wurden für die Einführung der Empfängerdrähte in das Wasser zwei Punkte einer Geraden gewählt, welche man sich in der Mitte der die beiden Sendedrähte verbindenden Geraden senkrecht zu dieser errichtet denken kann; in dieser Lage war die Induktion zwischen

geschlossenen Stromkreisen aufgehoben. Trotzdem war auch in diesen beiden Lagen die Übertragung ebenso deutlich wie in jeder anderen; als Ursache für dieselbe bleibt also nach Braun, wenn man noch die bei den Versuchen im Festungsgraben gewonnenen Ergebnisse in Betracht zieht, nur die Ausbreitung elektrischer Wellen innerhalb des Wassers.

Daraufhin schritt man zu Versuchen in gröfserem Mafsstabe. Dieselben fanden in der Elbemündung bei Cuxhaven statt. Obschon hier nur ein durch acht Bunsenelemente gespeister Induktionsapparat von mittlerer Gröfse zur Verfügung stand und die Anordnung überhaupt keine besonders günstige war, gelang die Übertragung bis auf 3 km Entfernung. Trotz dieses günstigen Anfanges wurden die Versuche jedoch nicht fortgesetzt, weil sich in der Übertragung der elektrischen Wellen durch die Luft eine dringendere und gleichzeitig auch mehr versprechende Aufgabe darbot.

Andere Erfinder scheinen auch das bescheidenere Problem noch eines Studiums für wert zu halten. In der Nähe von Paris haben neuerdings Popp und Pilsudski Versuche mit drahtloser Telegraphie angestellt, bei welchen nach ihrer Ansicht die Wellen durch den Erdboden übertragen wurden. Sie ersetzten die Antenne des Marconischen Systems auf jeder der beiden Stationen durch eine Metallplatte, die auf einer mit Petroleum bestrichenen Glasscheibe ruhte; die letztere wurde auf die Erde gelegt und diese bildete also mit der Metallplatte zusammen einen Kondensator. Auf der Sendestation führte von der Metallplatte ein Draht zu einer der Kugeln eines Oszillators, dessen andere Kugel durch eine im Boden steckende Metallplatte zur Erde abgeleitet war. Die gleiche Anordnung fand sich auf der Empfangsstation; nur trat hier an Stelle des Oszillators der Kohärer, der, wie gewöhnlich, in den Stromkreis einer Batterie und eines Relais eingeschaltet war. Nach Pilsudski sollen die auf der Sendestation erzeugten elektrischen Wellen durch den Kondensator auf den Erdboden übertragen werden und sich innerhalb des letzteren bis zur Empfangsstation ausbreiten. Gelegentlich einer Untersuchung über ein Verfahren zur Auffindung von Erzlagerstätten will nämlich Pilsudski beobachtet haben, dafs die elektrischen Wellen sich im Boden ausbreiten und nur dann aufgehalten werden, wenn sich zwischen der Ausgangs- und der Beobachtungsstelle metallhaltige Ablagerungen befinden. Die bei Vésinet in der Nähe von Paris auf eine Entfernung von 500 m vorgenommenen Versuche hatten

auch wirklich ein positives Ergebnis; es ist aber, besonders wenn man die geringe Entfernung zwischen den beiden Stationen in Betracht zieht, nicht nur möglich, sondern sogar wahrscheinlich, dafs die elektrischen Wellen auf ganz gewöhnliche Weise durch die Luft und nicht durch den Erdboden zum Empfänger gelangten. Die Auffassung der Erfinder kann erst dann als gerechtfertigt gelten, wenn sie durch andere, beweiskräftigere Versuche gestützt sein wird. B. Dessau.

Literatur und Patente.

[1]) Fahie, History of Wireless Telegraphy, 1. Aufl. London 1899, S. 290.

[2]) Lodge, The Work of Hertz, London 1897, S. 67.

[3]) Lodge, Signalling through Space without Wires, 3. Aufl., S. 45.

[4]) Fahie, loc. cit. S. 202.

[5]) Folgendes sind die englischen Patente Marconis und der „Wireless Telegraph and Signal Company", soweit sie sich auf die drahtlose Telegraphie zwischen nur zwei Stationen beziehen: Nr. 12039 vom 2. Juni 1896; Nr. 29306 vom 10. Dezember 1897; Nr. 12325 und Nr. 12326 vom 1. Juni 1898; Nr. 5657 vom 15. März 1899; Nr. 6982 vom 1. April 1899; Nr. 25186 vom 19. Dezember 1899.

[6]) Siehe darüber den Bericht von A. Della Riccia: Gli apparecchi di Marconi e le esperienze alla Spezia. Rom 1897.

[7]) Slaby, Die Funkentelegraphie, 2. Aufl. Berlin 1901.

[8]) Lecarme, Comptes Rendus, Bd. 129, S. 584 [1899].

[9]) Marconi, The Electrician. 18. Juli 1902.

[10]) Braun, Drahtlose Telegraphie durch Wasser und Luft. Leipzig 1901.

Drittes Kapitel.

Die Apparate der drahtlosen Telegraphie zwischen zwei Stationen.

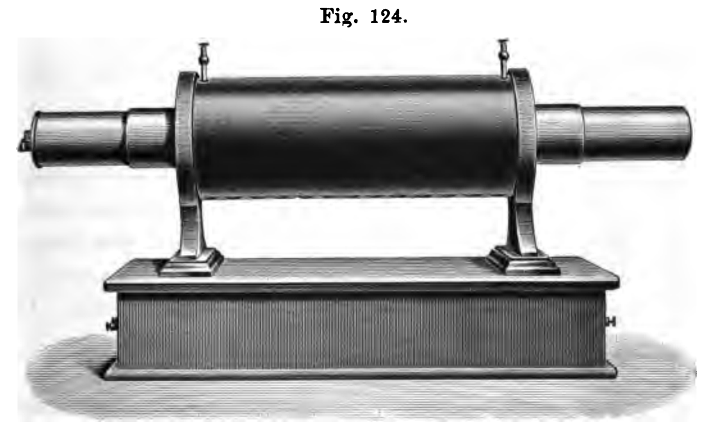
50. Induktionsapparate und Transformatoren.

Solange es sich um Laboratiumsversuche handelt, ist es gleichgültig, ob man den Oszillator durch eine Influenzmaschine oder durch einen Induktionsapparat erregt; viele Experimentatoren geben sogar der ersteren den Vorzug. Aber selbst die best konstruierten Influenzmaschinen funktionieren in einer feuchten Atmosphäre nur schlecht oder gar nicht; ferner ist mit denselben ein regelmäfsiges

Arbeiten ohne einen Motor, der sie in Bewegung erhält, nicht gut möglich. Für die Praxis der drahtlosen Telegraphie verwendet man deshalb beinahe ausschliefslich Induktionsapparate, die ihren Strom aus einer elektrischen Zentrale oder von einer Batterie von galvanischen Elementen oder Akkumulatoren erhalten; nur einige Systeme, die keine grofse Verbreitung gefunden haben, benutzen Wechselstrommaschinen in Verbindung mit Transformatoren.

Aus einem Laboratoriumsgerät ist also der Induktionsapparat zu einem Werkzeug der Technik geworden; seine Aufgaben haben sich erweitert, aber sein Bau hat nicht die entsprechenden Fortschritte gemacht. Der Nutzeffekt der Induktionsapparate, d. h. das Verhältnis zwischen der im Primärstromkreise verbrauchten und der im Sekundärkreise gewonnenen Energie, läfst noch immer viel zu wünschen übrig und übersteigt nur in seltenen Fällen den Be-

Fig. 124.



trag von 20 Proz. Die Telegraphie auf gröfsere Entfernungen erfordert, dafs bei jeder Entladung ein möglichst grofses Quantum von Energie zur Ausgabe gelange; diese Forderung hat man einfach durch eine beständig wachsende Gröfse der Apparate zu erfüllen gesucht. So trifft man heute nicht selten Apparate, deren Schlagweite zwischen Spitzen 40 und selbst 50 cm beträgt, obschon beim praktischen Gebrauch die Kugeln des Oszillators, zwischen denen die Funken überspringen, viel weniger voneinander entfernt sind. Im ganzen jedoch unterscheiden sich die am weitesten verbreiteten Induktionsapparate nur wenig von dem in § 22 beschriebenen klassischen Ruhmkorffschen Induktor. Die in Deutschland konstruierten Induktionsapparate weichen nur in Einzelheiten

von diesem Typus ab. Sie sind, wie Fig. 124 (a. v. S.) zeigt, vollständig mit Ebonit verkleidet; die induzierende Spule ist erheblich länger als die induzierte und kann innerhalb dieser letzteren in einer Ebonitröhre verschoben werden, um die Induktion zwischen den beiden Stromkreisen und damit den Wirkungsgrad des Apparates innerhalb gewisser Grenzen zu verändern.

Eine kompakte Form dieses Apparates, die, wie Fig. 125 zeigt, dazu bestimmt ist, in vertikaler Stellung an einer Wand befestigt zu werden, wird von der „Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft“ in Berlin hergestellt.

Fig. 125.

Besondere Sorgfalt erfordert die Isolierung des induzierten Stromkreises. Man kann dazu sowohl feste wie flüssige Substanzen verwenden. Infolge der ungleichen Ausdehnung und Zusammenziehung, welche die verschiedenen Teile des Apparates bei Temperaturänderungen erleiden, kann es jedoch leicht geschehen, dafs feste Isolatoren sich mit der Zeit von dem Metall ablösen oder dafs innerhalb ihrer Masse kleine Sprünge entstehen. In den auf solche Weise gebildeten Kanälen finden dann stille Entladungen statt, die das Isoliermaterial verändern und sein Isolationsvermögen immer mehr herabsetzen, bis schliefslich ein Funke den Isolator durchschlagen kann. Dieser Schaden läfst sich nur schwer reparieren.

Solche Übelstände vermeidet man bei Anwendung flüssiger Isolatoren; dafür aber gewähren diese, schon infolge der Bewegungen, die unter der Einwirkung elektrischer Kräfte in einer Flüssigkeit auftreten müssen, niemals eine so vollkommene Isolierung wie ein fester Isolator, solange er sich in gutem Zustande befindet. Überdies lassen sich die mit den festen Isolatoren verknüpften Nachteile verringern, wenn man die beiden Spulen getrennt voneinander herstellt und erst dann die induzierende Spule in die induzierte einführt. Die einzelnen Teile behalten dadurch eine gewisse Freiheit, sich auszudehnen und zusammenzuziehen, und etwa erforderliche Reparaturen sind leichter auszuführen.

Häufig besteht der induzierte Stromkreis aus mehreren getrennten Spulen, von denen jede für sich auf ein Ebonitgestell aufgewickelt ist. Besonders zahlreich sind diese Spulen in dem

Induktionsapparate von Davis (Fig. 126). Diese Anordnung gewährt den Vorteil, dafs bei Beschädigungen nur ein kleiner Teil des Apparates erneuert zu werden braucht.

Statt eines vollkommen festen oder flüssigen Isolators verwenden Wydts und Rochefort[1]) in ihrem Transformator eine

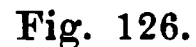
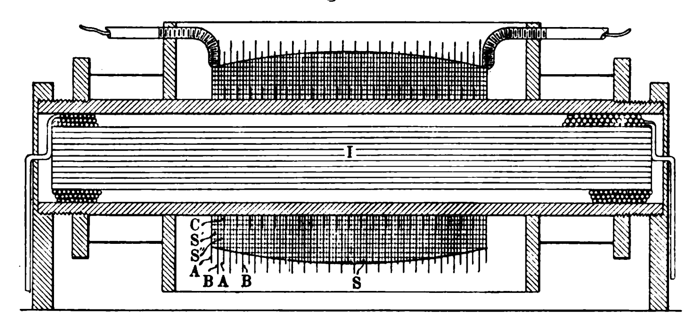
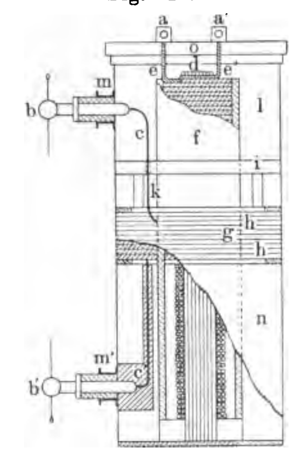


Fig. 126.



teigige Masse, die durch Lösen von Paraffin in heifsem Petroleum gewonnen wird und die Vorteile beider Aggregatzustände vereinigen soll. Der in Fig. 127 abgebildete Apparat ist vertikal in einem zylindrischen Behälter aufgestellt; der induzierende Stromkreis, dessen Anordnung die gewöhnliche ist, umfafst zwei Lagen von dickem Draht, die auf einen Kern von Eisendrähten aufgewunden und von einer Röhre aus isolierendem Material eingeschlossen sind; den induzierten Stromkreis bilden eine oder auch zwei Spulen, die, auf einem Holzblock befestigt, von Glassäulen getragen werden und nur den mittleren Teil der induzierenden Spule umgeben. Die beiden induzierten Spulen bestehen nur aus je 600 g Kupferdraht von 0,16 mm Dicke. Sie werden, bevor man sie an Ort und Stelle bringt, 24 Stunden lang in einer Mischung von Paraffin und Petroleum erhitzt. Ein derartiger Apparat mit nur einer induzierten Spule erzeugte mit einem Primärstrom von 4 Ampère, der von einer Batterie mit einer elektromotorischen Kraft von 5 Volt herrührte, Funken von 25 cm Länge, während ein Ruhmkorffscher Apparat vom gewöhn-

Fig. 127.



lichen Typus, der die gleiche Funkenlänge liefert, 5 bis 6 kg Kupfer enthält und das sechsfache Energiequantum konsumiert wie der beschriebene Transformator. Wydts und Rochefort wollen ferner eine erhebliche Zunahme der Wirkung ihres Apparates konstatiert haben, als sie dasjenige Ende des Sekundärkreises, welches dem Primärkreise am nächsten ist, mit der Erde verbanden[2]). Sind zwei induzierte Stromkreise vorhanden, so kann man auch durch Parallelschaltung derselben kräftigere Funken erzielen. Im Hinblick auf den erwähnten Effekt der Erdverbindung bezeichnen Wydts und Rochefort ihren Apparat als unipolaren Transformator. Tissot benutzte denselben zu Versuchen, von denen

Fig. 128.

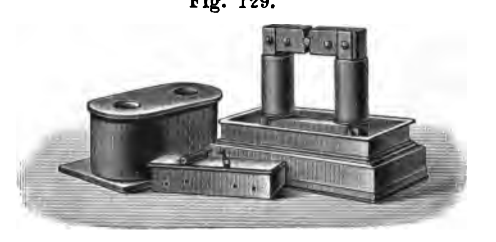


späterhin die Rede sein wird; mit seiner Hilfe soll die Übertragung von Depeschen bis auf 65 km Entfernung gelungen sein; durch einen gewöhnlichen Induktionsapparat gespeist, gaben die gleichen Apparate nur bis auf 35 km Entfernung Signale.

Vom Typus der gewöhnlichen Induktionsapparate wesentlich verschieden ist der Transformator von Klingelfufs, der sich mehr der Anordnung der technischen Starkstromtransformatoren nähert. Wie aus Fig. 128 und 129 ersichtlich, hat derselbe einen hufeisenförmigen Eisenkern, auf dessen Schenkeln je eine Primär- und Sekundärspule sitzt; durch zwei Eisenstücke, die auf den Polen des Hufeisens angebracht sind, ist der magnetische Kreis

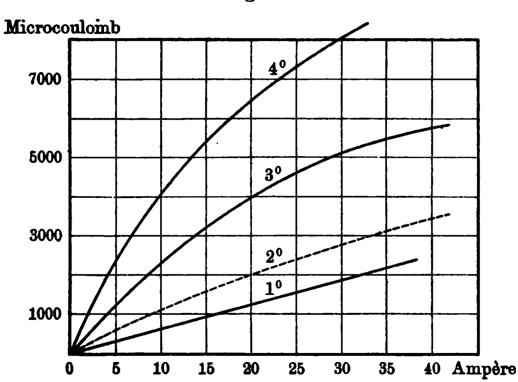
ganz oder nahezu geschlossen. Sowohl das Hufeisen als die Verbindungsstücke sind aus dünnen Eisenblechen aufgebaut. Von den gewöhnlichen Typen unterscheidet sich der Klingelfufssche Transformator ferner durch eine besondere Wickelung des sekundären Stromkreises; der Abstand der verschiedenen Windungen voneinander wächst nämlich mit der zwischen denselben auftretenden Potentialdifferenz. Die beiden Spulen jedes Stromkreises können parallel oder in Serie geschaltet werden.

Fig. 129.



H. Veillon[3]) hat an einem Induktionsapparate vom gewöhnlichen Typus und an einem Klingelfufsschen Transformator vergleichende Messungen vorgenommen. Der erstere hatte 62 cm Länge und 22 cm Durchmesser; der Primärkreis bestand aus 322 Windungen, der Sekundärkreis aus 153 000 Windungen von

Fig. 130.



0,16 mm dickem Draht; der Widerstand des Sekundärkreises betrug 50000 Ohm. Der Klingelfufssche Transformator hatte im induzierenden Stromkreis 112 Windungen; der induzierte Stromkreis besafs 18000 Windungen von 0,2 mm dickem Draht und einen Widerstand von 8000 Ohm. Die Resultate der an diesen beiden Apparaten vorgenommenen Messungen sind in Fig. 130 dargestellt, in welcher die Abszissen die Intensität des Primärstromes, die Ordinaten die induzierten Elektrizitätsmengen be-

zeichnen. Die Kurve Nr. 1 bezieht sich auf den gewöhnlichen Induktionsapparat, Nr. 2 auf den Klingelfufsschen Transformator mit den Primärspulen in Parallelschaltung und ohne Verbindung zwischen den Polen des Eisenkerns, Nr. 3 auf die gleiche Anordnung mit den Verbindungsstücken zwischen den Polen, bei Nr. 4 endlich ist wie bei Nr. 3 der magnetische Kreis geschlossen, zugleich aber sind die beiden Spulen jedes Stromkreises in Serie geschaltet. Die Wichtigkeit des geschlossenen magnetischen Kreises ist aus den Kurven ohne weiteres ersichtlich, denn die induzierten Elektrizitätsmengen sind bei dieser Anordnung im Vergleich mit dem offenen Kreise nahezu verdreifacht, obschon sie auch bei dieser letzteren gröfser sind als bei dem gewöhnlichen Induktionsapparat. Die Potentialdifferenz zwischen den Enden des Sekundärdrahtes war bei beiden Typen die gleiche, da die Funken hier wie dort 42 bis 43 cm Länge erreichten, aber diejenigen des Klingelfufsschen Apparates zeigten eine viel stärkere Lichthülle als diejenigen des gewöhnlichen Induktors.

51. Die Unterbrecher.

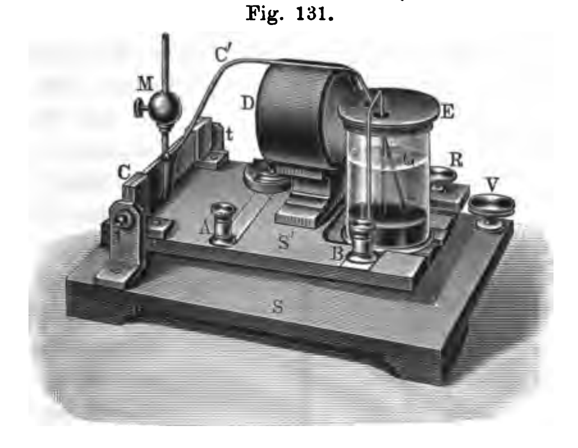
Einer gröfseren Mannigfaltigkeit als bei den Induktionsapparaten begegnet man bei den in der drahtlosen Telegraphie verwendeten Unterbrechern. Aufser den bereits in § 22 beschriebenen klassischen Typen gibt es heute verschiedene neue Konstruktionen, mit denen wir den Leser bekannt machen wollen.

Viele Experimentatoren geben freilich dem Hammerunterbrecher, obschon derselbe für Induktoren von mehr als 25 cm Funkenlänge kaum geeignet ist, noch immer den Vorzug; auch die „Wireless Telegraph and Signal Company“ verwendet bei ihren Installationen nur diesen Typus. Einer der Nachteile desselben, nämlich die rasche Abnutzung, welcher, zumal bei gröfseren Stromstärken, die Kontaktflächen unterworfen sind, ist in dem Vibrator von Mac Farlane Moore beseitigt. Dieser Apparat ist nichts anderes als ein Hammerunterbrecher, der bis auf den Elektromagneten, dessen wechselnde Anziehung den Anker in Bewegung erhält, in einen Glasbehälter eingeschlossen ist, der möglichst luftleer gepumpt wird. Die Oxydation der Kontaktflächen ist dadurch vermieden. Dennoch hat dieser Apparat, vielleicht wegen seiner Zerbrechlichkeit, nur wenig Eingang in die Praxis gefunden.

Der in § 22 beschriebene Foucaultsche Unterbrecher bietet neben manchen Vorzügen, die ihn namentlich für grofse Induktions-

apparate geeignet machen, für die drahtlose Telegraphie den Nachteil, dafs die Unterbrechungen zu langsam aufeinander folgen. Die Abänderungen, welche derselbe in den letzten Jahren erfahren hat, verfolgten deshalb in erster Linie den Zweck, seine Geschwindigkeit zu erhöhen. Bei dem Villardschen Unterbrecher z. B. wird die hin und her gehende Bewegung des Stiftes, welcher den Kontakt mit dem Quecksilber herstellt, durch die elektrodynamische Anziehung zwischen einem Teil des von dem Strom durchflossenen Leiters und einem permanenten Magneten erzeugt. Ein dicker Kupferdraht C' (Fig. 131) ist mit einem Ende an einem elastischen Streifen C befestigt, der als Torsionsfeder wirkt; das andere Ende trägt einen Nickeldraht P, der in der Ruhelage der Feder in das im Glase G befindliche Quecksilber taucht. Je nachdem das Brett, welches den ganzen Apparat mit Ausnahme des Glases trägt, mit

Fig. 131.

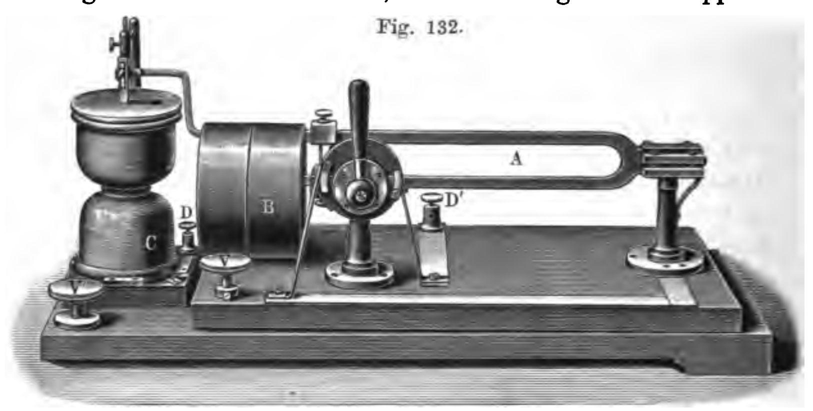


Hilfe der Schraube R tiefer oder höher gestellt wird, taucht der Stift mehr oder weniger tief in das Quecksilber ein. Der Draht C' geht zwischen den Polen eines permanenten Magneten D hindurch; er wird von dem Strom durchflossen, und die Richtung desselben mufs eine derartige sein, dafs der Draht von den Polen des Magneten abgestofsen wird. Dadurch geht auch der Draht P in die Höhe und unterbricht den Kontakt mit dem Quecksilber, worauf das Spiel von neuem beginnt.

Ein gröfseres Modell desselben Apparates zeigt Fig. 132 (a. f. S.). An Stelle der Torsionsfeder hat dasselbe eine Stimmgabel, deren Schwingungsdauer sich durch Laufgewichte innerhalb gewisser Grenzen verändern läfst. Durch Drehung des in der Abbildung

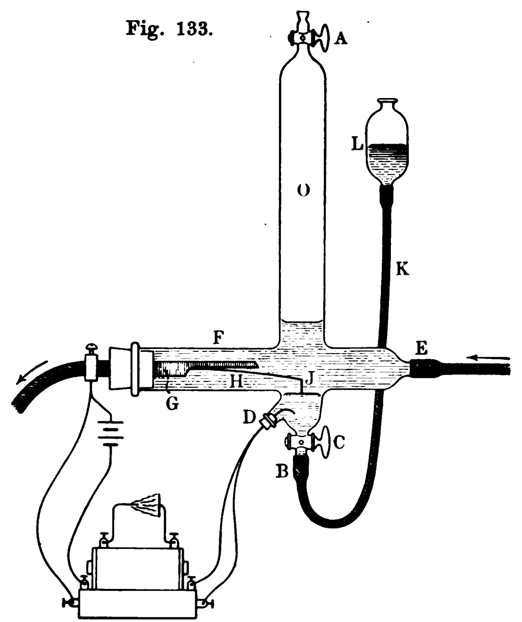
sichtbaren Hebels wird der Strom geschlossen und zugleich der Stimmgabel der Anstofs erteilt, der die Tätigkeit des Apparates

Fig. 132.



einleitet. Der kleinere Apparat liefert etwa 20 Unterbrechungen in der Sekunde; der gröfsere ist für 40 bis 45 Unterbrechungen in der Sekunde konstruiert.

Fig. 133.



Bei dem Unterbrecher von Grimsehl[4]) ist die schwingende Feder, die durch ihre Bewegung in intermittierende Berührung mit einer Quecksilberoberfläche tritt, nach Art der Zunge einer Zungenpfeife angeordnet. Der Apparat (Fig. 133) befindet sich innerhalb eines Kreuzes aus Glasröhren; der untere Zweig desselben ist mit Quecksilber gefüllt und, um das Niveau dieses letzteren variieren zu können, durch einen Gummischlauch mit einem beweglichen Behälter verbunden. Der elektrische Strom gelangt zu dem Quecksilber durch einen in die Tubulatur *D* eingeführten Draht; vom

Quecksilber aus geht er auf die an der Zunge H befestigte Platinspitze J über. Durch den horizontalen Arm des Kreuzes, in welchen eine Art von Zungenpfeife eingesetzt ist, wird in der auf der Abbildung angegebenen Richtung ein Wasserstrom geleitet. Der Widerstand, dem derselbe beim Durchtritt durch die Pfeifenöffnung begegnet, hat eine Verdichtung der in O eingeschlossenen Luft zur Folge; wenn der Druck in derselben einen gewissen Betrag erreicht hat, gerät die Zunge in Schwingung und bewirkt regelmäſsige Unterbrechungen des vom Quecksilber zur Zunge flieſsenden elektrischen Stromes. Man erreicht ohne Schwierigkeit 100 Schwingungen in der Sekunde; die Unterbrechungen finden nach Grimsehl beinahe augenblicklich statt, der Wasserstrom hält die Quecksilberfläche in reinem Zustande und verhindert die Erwärmung der Kontaktstelle. Trotzdem soll der Wasserverbrauch nur gering und ein schwacher Druck hinreichend sein. Kleine Mengen Quecksilber, die von dem Wasserstrom mitgerissen werden können, werden in einem besonderen Behälter aufgefangen.

Ein Quecksilberunterbrecher, dessen Periode innerhalb ziemlich weiter Grenzen variiert werden kann und der dabei von sehr einfacher Konstruktion ist, rührt von Margot[5]) her. Derselbe besteht aus einer Rogetschen Spirale aus dickem Kupferdraht (Fig. 134), die mit ihrem oberen Ende an dem Gestell des Apparates befestigt ist; das untere Ende ist abwärts gebogen und taucht in das am Boden eines Glasgefäſses befindliche Quecksilber, das zweckmäſsig von einer isolierenden Flüssigkeit bedeckt ist. In das Quecksilber reicht auſserdem noch ein anderer Draht. Wird der Apparat von einem Strom durchflossen, so ziehen die verschiedenen Windungen des Kupferdrahtes einander an, die Spirale verkürzt sich und ihr unteres Ende tritt aus dem Quecksilber heraus; dadurch wird aber der Strom unterbrochen, die Spirale nimmt infolge ihrer Elastizität und ihres Gewichtes die ursprüngliche Lage wieder an und der Vorgang wiederholt sich. Die Amplitude der vertikalen Bewegung läſst sich vergröſsern, indem man in die Spirale einen Kern aus weichem Eisen einschiebt; bei 15 bis 20 Ampère Stromstärke kann dieselbe leicht 2 cm überschreiten. Um die Periode zu verändern, wird durch eine Pinzette oder eine andere geeignete Vorrichtung ein Teil der Spirale festgehalten und dadurch verhindert, an der Bewegung teilzunehmen.

Fig. 134.

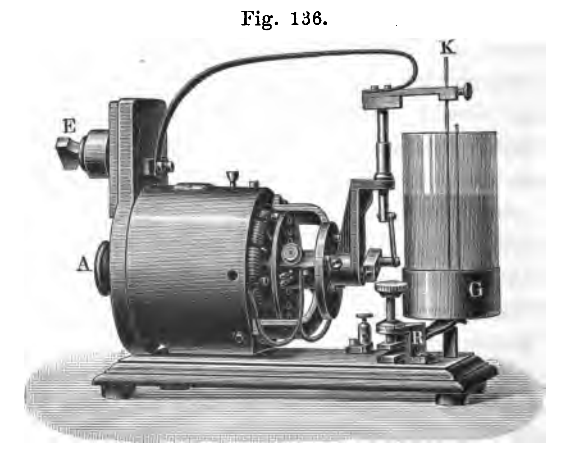
Bei einem anderen, ebenfalls von **Margot** konstruierten Unterbrecher (Fig. 135) ist die Stromunterbrechung eine Folge der Anziehung, welche ein von einer Kupferdrahtspirale getragener Eisenstab, der in eine Spule hineinhängt, von seiten dieser letzteren erfährt, wenn der Apparat von einem Strom durchflossen wird.

Fig. 135.

Dieser Unterbrecher ist weniger einfach als der zuvor beschriebene, dafür aber läfst sich mit demselben eine gröfsere Frequenz erreichen.

Immerhin ist es, wenn eine grofse Frequenz und prompte Unterbrechung verlangt wird, vorteilhafter, den Unterbrecher von einem besonderen elektrischen Motor treiben zu lassen, dessen Drehbewegung durch eine Exzentervorrichtung in die hin und her gehende Vertikalbewegung einer in Quecksilber tauchenden Stange verwandelt wird. Einer weiteren Erläuterung bedarf dieser Typus nicht. Zu demselben gehören z. B. die Unterbrecher von **Hirschmann** (Fig. 136), von **Ducretet** und **Lejeune** (Fig. 137), sowie eine Reihe anderer, deren Aufzählung kein besonderes Interesse bieten würde. Ein Vorteil dieser Art

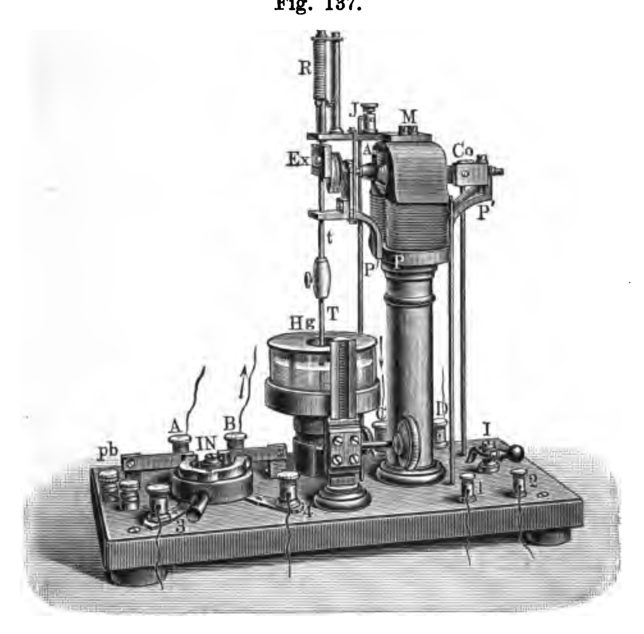
Fig. 136.



von Unterbrechern besteht in der genau vertikalen Bewegung der Stange, wodurch das Umherspritzen des Quecksilbers, wie es beim **Foucault**schen Unterbrecher vorzukommen pflegt, vermieden wird. Ferner läfst sich durch Einschalten von Widerständen in den Stromkreis des Motors die Geschwindigkeit dieses letzteren und damit die Periode des Unterbrechers auf einfache Weise variieren. Auch **Hofmeister**[6]) bedient sich bei seinem Unterbrecher eines

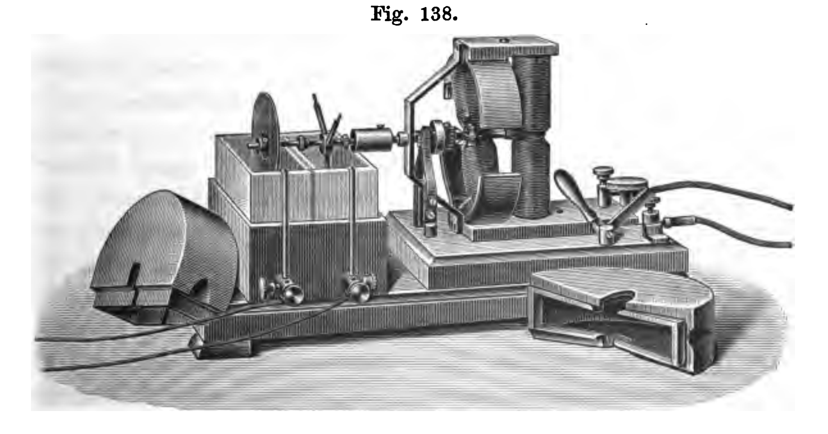
elektrischen Motors. Auf der Achse desselben (Fig. 138) sind nebeneinander eine Kupferscheibe und drei in einer Ebene befind-

Fig. 137.



liche Speichen aus Eisen oder Nickelin mit Enden aus Platin montiert; die Scheibe und die Speichen stehen miteinander in Verbin-

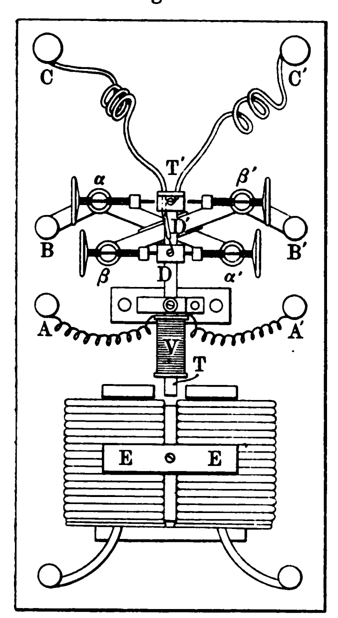
Fig. 138.



dung und tauchen in zwei gesonderte Quecksilbergefäſse, die mit den Zuführungsdrähten des Stromes verbunden sind; der Strom wird

also jedesmal geschlossen, wenn eine der Speichen mit dem Quecksilber in Berührung tritt. Das Verhältnis zwischen der Dauer der Schliefsungs- und Unterbrechungsperioden hängt, wie bei den anderen Unterbrechern, von der Höhe des Quecksilberniveaus ab. Die Zahl der Unterbrechungen wird durch Einschaltung von Widerständen zwischen 60 und 5 in der Sekunde variiert. Der Kraftverbrauch des Motors soll geringer sein als derjenige der Motorunterbrecher mit Exzentervorrichtung. Den Übelstand, dafs die Speichen das Quecksilber in allzu schräger Richtung verlassen, hat Hauswaldt[7]) durch eine knieförmige Biegung der Speichen beseitigt.

Fig. 139.

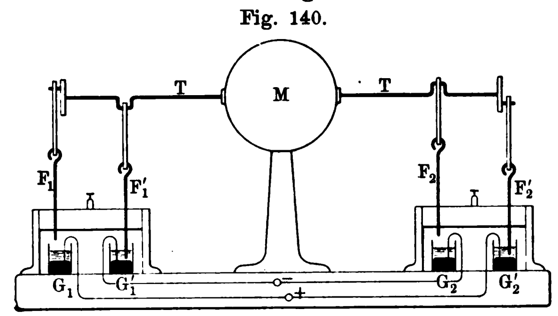


Bei sämtlichen bisher betrachteten Unterbrechern ist die veränderliche Periode bei der Schliefsung des Stromes von anderer Dauer als bei der Unterbrechung desselben und demgemäfs sind auch die in beiden Perioden induzierten elektromotorischen Kräfte verschieden grofs. Diese Erscheinung, die in manchen Fällen von Nachteil sein kann, ist bei dem Unterbrecher von Crémieu (Fig. 139) beseitigt, da hier zugleich mit der Unterbrechung auch eine Umkehrung des Stromes stattfindet. Als beweglichen Teil hat dieser Unterbrecher ein eisernes Pendel TT', welches durch eine von einem konstanten Strom durchflossene Spule V magnetisiert wird. Das Pendel schwingt zwischen den Polen eines Elektromagneten EE, der durch einen Wechselstrom erregt wird. Der Strom gelangt zu dem Unterbrecher durch die vier Kontakte $\alpha\alpha'$ $\beta\beta'$, von welchen α mit α' und β mit β' in Verbindung steht, und verläfst den Apparat durch die beiden isolierten Armaturen DD'. Die Tätigkeit des Apparates ist ohne weitere Erklärung verständlich. Der Strom, welcher durch denselben unterbrochen werden soll, kann ein Gleichstrom oder ein Wechselstrom sein; im letzteren Falle werden die von Spiralfedern getragenen Kontakte $\alpha\beta\alpha'\beta'$ so geregelt, dafs die Unterbrechungen jedesmal in den Momenten eintreten, in welchen die elektromotorische Kraft des Stromes gleich

Null ist. Der Elektromagnet *EE* mufs aber, wie schon gesagt, in jedem Falle durch einen Wechselstrom erregt werden.

An Stelle des ziemlich komplizierten Crémieuschen Apparates empfiehlt Turpain[8]) die in Fig. 140 abgebildete Vorrichtung, welche sich von einer seit lange bekannten Abänderung des

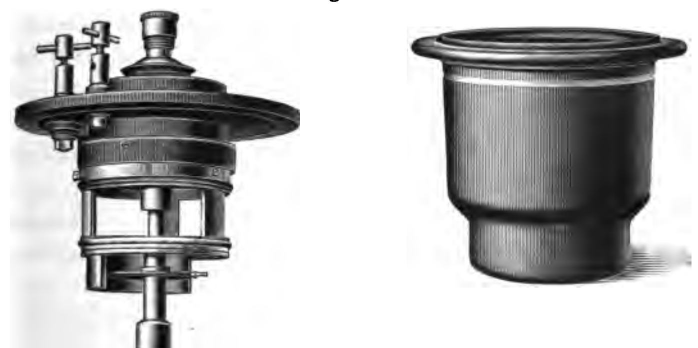
Fig. 140.



Foucaultschen Unterbrechers im Grunde nur dadurch unterscheidet, dafs die Schwingungen des Doppelhebels, der gleichzeitig den Strom unterbricht und umkehrt, durch auf- und abwärts gehende Bewegungen, die mit Hilfe eines in *M* eingeschlossenen Motors erhalten werden, ersetzt sind.

Grofse Verbreitung haben die Quecksilberstrahl-Unter-

Fig. 141.



brecher gefunden. Zu dieser Klasse gehört der Turbinen-Unterbrecher der „Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft“. Eine kleine Turbine mit vertikaler Achse (Fig. 141), die von einem elektrischen Motor getrieben wird, schöpft Quecksilber aus dem Grunde eines gufseisernen Behälters, läfst dasselbe in der hohlen Achse der Turbine emporsteigen und schleudert es durch die Wirkung der Zentrifugalkraft aus einer engen Öffnung in Gestalt eines feinen

Strahles heraus. Dieser Strahl, der durch die Masse des unten im Behälter befindlichen Quecksilbers mit einem der Leiter des Stromes in Verbindung steht, rotiert beständig in einer horizontalen Ebene und trifft während eines Teiles jeder Drehung auf einen metallenen Vorsprung oder auf die Zähne eines mit Einschnitten versehenen Ringes, der von dem Behälter isoliert ist und zu dem anderen Stromleiter führt. Dadurch wird der Strom abwechselnd geschlossen und unterbrochen. Der Behälter ist mit Alkohol gefüllt. Der Stromschlufs ist vollkommen; die Unterbrechung tritt beinahe augenblicklich ein, wenn der Quecksilberstrahl den erwähnten Vorsprung verläfst oder in den Zwischenraum zwischen zwei Zähnen fällt. Etwa 3 kg Quecksilber genügen zum Betrieb des Unterbrechers, da dasselbe sich beständig wieder auf dem Boden des Behälters ansammelt und sich, trotzdem es durch die Tätigkeit des Unterbrechers in kleine Tröpfchen zerteilt wird, bald wieder zu einer zusammenhängenden Masse vereinigt. Zwei unten im Behälter angebrachte schraubenförmige Flügel verhindern, dafs die ganze Masse des Quecksilbers in Rotation gerät. Die Geschwindigkeit des Motors und dadurch der Turbine läfst sich zwischen 200 und 1000 Umdrehungen in der Minute variieren; unter eine gewisse Grenze darf dieselbe nicht sinken, weil die Tätigkeit der Turbine an ein gewisses Minimum der Umdrehungsgeschwindigkeit geknüpft ist. Ein Vorteil dieses Unterbrechers liegt darin, dafs niemals ein dauernder Stromschlufs stattfinden kann; bleibt die Turbine aus irgend welcher Ursache stehen, so wird der Strom alsbald unterbrochen.

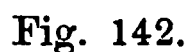


Fig. 142.

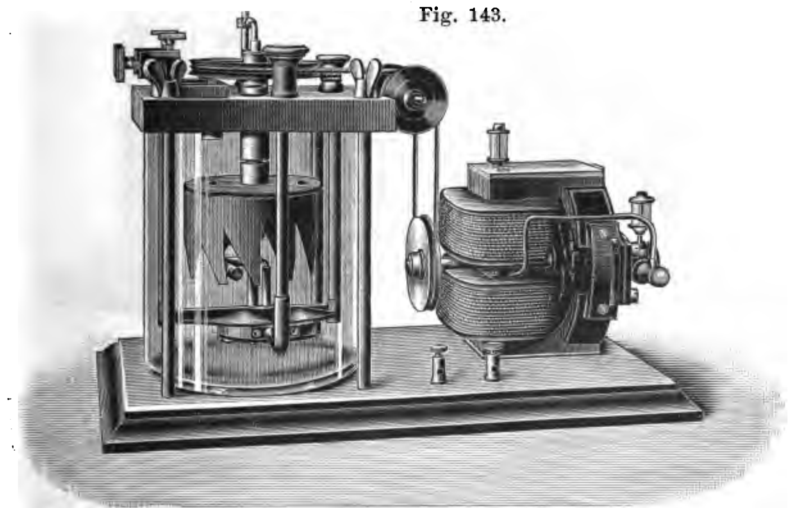


Für die Installationen auf Schiffen hat die „Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft“ ihren Turbinenunterbrecher samt seinem Motor in einer cardanischen Aufhängung montiert (Fig. 142).

Eine etwas andere Form des Quecksilberstrahl-Unterbrechers ist die von M. Levy konstruierte (Fig. 143). Der Quecksilberstrahl hat eine feste Richtung und statt dessen rotiert der gezahnte Ring, der mit einer der Klemmschrauben des Apparates in Verbindung steht. Der Ring kann leicht durch einen anderen mit einer gröfseren oder kleineren Anzahl von Zähnen vertauscht werden. Mit einem Ring von 24 Zähnen lassen sich 120 bis 400 Unterbrechungen in der Sekunde erzielen. Das Verhältnis zwischen der Dauer der Schliefsungs- und Unterbrechungsperioden läfst sich, auch während der Apparat in Tätigkeit ist, verändern, indem man vermittelst einer Schraube das Rohr, aus welchem der Quecksilberstrahl austritt, in verschiedene Höhe einstellt.

Ein Nachteil der Quecksilberunterbrecher, besonders aber derjenigen vom Typus des Foucaultschen, besteht darin, dafs das

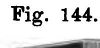
Fig. 143.

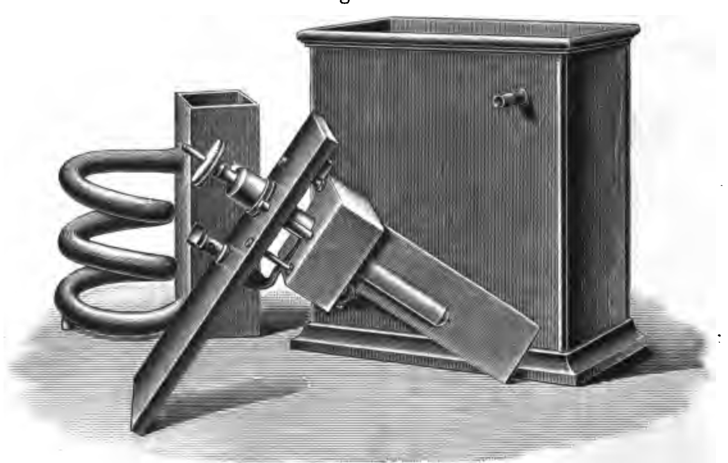


Quecksilber und die isolierende Flüssigkeit (Alkohol oder Vaselinöl), welche dasselbe bedeckt, nach und nach sich miteinander vermischen und schliefslich die weitere Tätigkeit des Apparates verhindern. Dieser mufs deshalb häufig auseinandergenommen und gereinigt werden. Frei von diesem Nachteil sind die elektrolytischen Unterbrecher. Von denselben ist in § 22 bereits die Rede gewesen; wir beschränken uns deshalb an dieser Stelle auf die Betrachtung einiger konstruktiven Einzelheiten.

Steigert man die Potentialdifferenz zwischen den Elektroden des Wehneltschen Unterbrechers bis über 40 oder 50 Volt, so

erwärmt sich der Apparat sehr stark und hört zu funktionieren auf, wenn die Temperatur eine gewisse Grenze überschritten hat. Dagegen bedarf es einer ziemlich hohen Temperatur, wenn der Unterbrecher mit einer niedrigen elektromotorischen Kraft, etwa mit 15 oder 20 Volt, funktionieren soll. Daraus ergeben sich zwei Gebrauchsmöglichkeiten des Wehneltschen Unterbrechers. In seiner für hohe elektromotorische Kräfte bestimmten Konstruktion (Fig. 144) umgibt Ernecke das Bleigefäſs, welches die Schwefelsäure enthält, mit kaltem Wasser und verbindet seitlich mit demselben eine bleierne Kühlschlange; in diese tritt die heiſs gewordene Säure oben ein und kühlt sich auf dem Wege durch dieselbe ab.


Fig. 144.

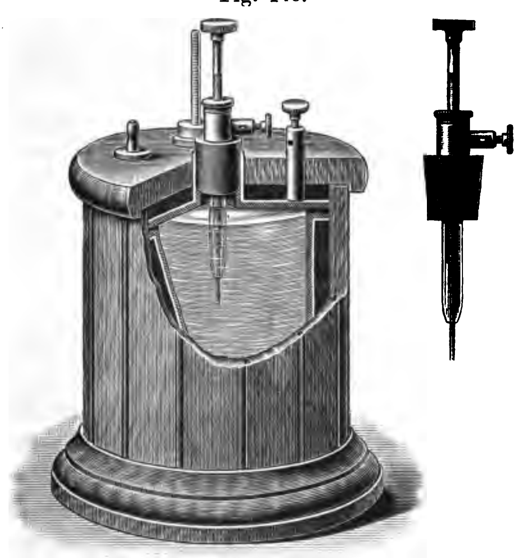


Bei dem für niedrige elektromotorische Kräfte bestimmten Modell von Carpentier (Fig. 145) dagegen ist der Bleibehälter, der die Kathode bildet, mit Filz umhüllt und in einen hölzernen Kasten eingesetzt. Die Wärmeverluste sind dadurch auf ein Minimum reduziert. Damit der Apparat seine Tätigkeit beginnen kann, muſs man denselben zunächst bis gegen 90⁰ erhitzen.

Auch der Unterbrecher von Simon und Caldwell hat verschiedene Formen erhalten. Wir erwähnen von denselben den einfachen Typus der „Gesellschaft für drahtlose Telegraphie“ (Fig. 146), der hauptsächlich darauf eingerichtet ist, den Explosionen vorzubeugen, welche bei den ersten Apparaten nicht selten vorkamen. Eine andere Form (Fig. 147, a. f. S.) rührt von Turpain her. Drei Behälter sind ineinander gestellt; jeder von denselben nimmt

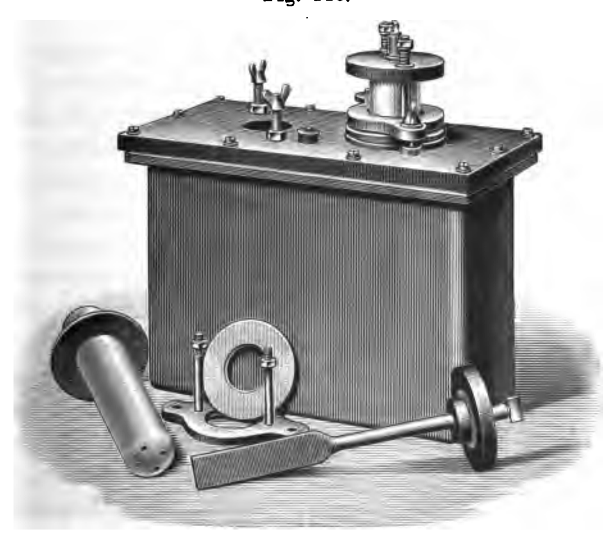
eine Bleielektrode auf; die beiden inneren Behälter sind durchlöchert. Hat der innerste Behälter drei Öffnungen und der mittlere

Fig. 145.



sechs, so kann man nach Turpain den Apparat nach Belieben für elektromotorische Kräfte von 50, 120 und 240 Volt gebrauchen,

Fig. 146.

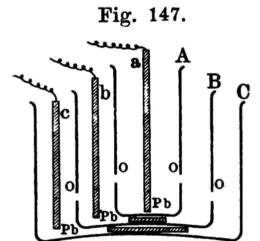


je nachdem man den Strom zwischen der innersten Elektrode *a* und der mittleren *b*, oder zwischen dieser und der äufseren Elektrode *c*, oder endlich zwischen *a* und *c* übergehen läfst; die Stromstärke soll in allen Fällen 10 bis 12 Ampère betragen.

Ein anderer Vorschlag geht dahin, in ein grofses Gefäfs mit 10prozentiger Schwefelsäure, welches die eine Elektrode enthält, eine Reihe kleiner Glasbehälter einzutauchen, von denen jeder eine Bleielektrode aufnimmt; die Behälter sind mit Öffnungen versehen, deren Zahl und Gröfse bei den verschiedenen Behältern verschieden ist. Die elektromotorische Kraft, welche für den Durchgang des Stromes zwischen der äufseren und einer von den inneren Elektroden erforderlich ist, richtet sich nach der Zahl und Gröfse der vorhandenen Öffnungen.

Bei der Wahl eines Unterbrechers für die drahtlose Telegraphie kommt aufser einer einfachen Konstruktion und bequemen Handhabung namentlich die Häufigkeit der Unterbrechungen in Betracht, welche derselbe zu liefern im stande ist. Die von einer Entladung des Oszillators erzeugten elektrischen Wellen erlöschen nämlich infolge ihrer starken Dämpfung jedesmal schon bevor eine neue Entladung eine abermalige Aussendung von Wellen veranlafst. Je rascher die einzelnen Entladungen aufeinander folgen, um so leichter wird deshalb unter sonst gleichen Bedingungen der Empfänger zusammenhängende Zeichen von einer gewissen Ausdehnung geben können, wie sie den Linien des Morsealphabets entsprechen. In dieser Beziehung sind die elektrolytischen Unterbrecher den Quecksilberunterbrechern, namentlich denjenigen des Foucaultschen Typus, ohne Zweifel überlegen. Diesem Vorzuge stehen jedoch auch gewisse Nachteile entgegen; die elektrolytischen Unterbrecher funktionieren weniger zuverlässig und verbrauchen eine gröfsere Energiemenge als die Turbinenunterbrecher. Allerdings fand Tissot, dafs zur Übertragung von Signalen auf eine gewisse Entfernung bei Anwendung des Wehneltschen Unterbrechers ein kleinerer Induktionsapparat hinreichte, als bei den mechanischen Unterbrechern; in der Praxis der drahtlosen Telegraphie scheinen sich die elektrolytischen Unterbrecher im ganzen aber doch nicht bewährt zu haben. Bei einigen Systemen der drahtlosen Telegraphie haben dieselben deshalb überhaupt keinen Eingang gefunden, bei

Fig. 147.



anderen beschränkt sich ihre Anwendung auf Fälle, in denen besonders starke Ströme notwendig sind. Gewisse Eigenschaften des Funkens, die für die Tragweite der Signale von gröfster Bedeutung sind, hängen überhaupt viel weniger von dem Typus des Unterbrechers ab, als vielmehr von der Anordnung des Oszillators und seiner Hilfsapparate. Mit diesem wollen wir uns nunmehr beschäftigen.

52. Erreger und Antennen.

Wie bereits an anderer Stelle gesagt wurde, ist der Oszillator mit dem in Öl überspringenden Funken, den Marconi bei seinen ersten Versuchen benutzt hatte, und dessen sich nach seinem Vorgange anfänglich auch andere Experimentatoren bedienten, nicht lange in Gebrauch geblieben. Die schweren Öle, welche für diesen Zweck in erster Linie in Betracht kommen, erleiden durch die kräftigen Funken eine rasche Zersetzung; es bilden sich Kohleteilchen, welche zwischen den Metallkugeln eine leitende Brücke herstellen können; in anderen Fällen treten Gasbläschen auf, welche ebenfalls den regelmäfsigen Charakter der Entladungen beeinträchtigen. Mit Petroleum anstatt des Paraffinöls will allerdings Blondel gute Resultate erhalten haben; aber auch das Petroleum scheint nicht ganz frei von dem gerügten Übelstande, zu welchem sich bei ihm als fernerer Mangel noch die Flüchtigkeit und leichte Entzündbarkeit gesellt. Man ist deshalb wieder dazu übergegangen, den Erregerfunken in Luft überschlagen zu lassen; werden die Kugeln, zwischen welchen derselbe überspringt, von Zeit zu Zeit mit Schmirgelpapier gereinigt, so ist auch Überzug derselben mit Gold oder Platin, den man hier und da für notwendig gehalten hatte, vollkommen überflüssig.

Die Anzahl und der Durchmesser der Kugeln, aus welchen sich der Oszillator zusammensetzt, scheint keine besondere Bedeutung zu haben. Tissot erhielt mit Oszillatoren von vier, drei und zwei Kugeln gleich gute Resultate. Die meisten Experimentatoren sind deshalb zu der einfachen Anordnung des Erregers zurückgekehrt, wie er sich bei jedem Induktionsapparate vorfindet, nämlich zu den beiden in Fassungen verschiebbaren Metallstangen, welche die Enden des Sekundärdrahtes bilden und einerseits isolierte Handgriffe, anderseits Metallkugeln tragen, zwischen denen die Entladungen vor sich gehen. Für geringere Entfernungen hat indessen Tissot mit Vorteil auch einen Oszillator aus vier Kugeln benutzt, von welchen die beiden äufseren mit den Enden des

Induktionsapparats, die beiden mittleren beziehungsweise mit der Antenne und mit der Erde verbunden sind. Diese Anordnung soll der Funkenlänge günstig sein, weil sie dem Induktionsapparat mit Bezug auf die Spannungen eine vollkommene Symmetrie bewahrt, während die einfache Anordnung mit nur zwei Kugeln, welche mit den Enden des Sekundärdrahtes und dabei gleichzeitig mit der Antenne oder mit der Erde in Verbindung stehen, unsymmetrisch ist und darum der Funkenlänge nachteilig sein soll.

Der Kuriosität halber möge hier ein Oszillator von Armstrong und Orling[9]) Erwähnung finden. Derselbe besteht der Hauptsache nach aus zwei, von Öl umgebenen, hohlen Metallkugeln, die eine Anzahl kleiner Kugeln enthalten. Nach der Ansicht der Erfinder sollen diese die Schwingungsdauer der von ihrem Apparat ausgesandten Wellen beeinflussen und man soll durch Veränderung der Zahl der kleinen Kugeln, die in die Hohlkugel eingeführt oder daraus entfernt werden können, in der Lage sein, die Schwingungsdauer des Senders auf diejenige eines Empfängers abzustimmen. Es braucht indessen kaum hervorgehoben zu werden, dafs die Erfinder im Irrtum sind, wenn sie von derartigen Massenveränderungen innerhalb vollständig geschlossener Leiter einen Einflufs auf die Periode eines Oszillators erwarten.

Die Notwendigkeit der Antenne sowohl beim Sende- wie beim Empfangsapparat steht schon seit den ersten Versuchen über drahtlose Telegraphie aufser Zweifel. Praktisch hatte es sich als vollständig unmöglich erwiesen, auf einigermafsen beträchtliche Entfernungen Zeichen zu senden, wenn nicht beide Stationen mit Antennen von genügender Höhe ausgerüstet waren. Von den Vorgängen, auf welchen der Einflufs der Antenne beruhen mag, ist schon an anderer Stelle die Rede gewesen. In § 48 haben wir ferner erfahren, dafs nach Marconi zum Telegraphieren auf eine englische Meile (1600 m) Entfernung jede Station eine Antenne von ungefähr 6 m Höhe haben muss, und dafs die mit höheren Antennen erreichbare Grenze im Verhältnis des Quadrates der Antennenlänge zunimmt. Dagegen fand Tissot, dafs zu einer wirklich guten Verständigung auf 1,8 km Entfernung 12 m lange Antennen erforderlich waren; für Entfernungen zwischen 7 und 8 km bedurfte es auf jeder Station einer Antenne von 25 m Höhe; mit 45 m hohen Antennen war es eben noch möglich, Signale bis auf 40 km Entfernung zu übertragen. Soweit die absolute Höhe der Antennen in Betracht kommt, läfst sich die Abweichung von

Marconi, der wesentlich kürzere Antennen hinreichend gefunden hatte, dadurch erklären, dafs Tissot seine Versuche absichtlich mit Kohärern von mittlerer Empfindlichkeit angestellt hatte; mit empfindlicheren Apparaten hätte wahrscheinlich auch Tissot günstigere Zahlen erhalten. Aber auch das Gesetz der Änderung der Antennenlänge mit der Entfernung scheint bei Tissot nicht ganz so einfach wie bei Marconi. In Übereinstimmung mit anderen fand auch Tissot, dafs es nicht erforderlich ist, den Antennen auf beiden Stationen die gleiche Länge zu geben; ist die eine kürzer, als es nach den vorstehenden Resultaten erforderlich sein sollte, so genügt es, die andere Antenne um so viel zu verlängern, dafs die Summe beider Längen nicht unter einer gewissen Grenze bleibt. Nach Tissot ist es ferner nicht notwendig, dafs die gerade Linie zwischen den Spitzen der Antennen durch kein Hindernis unterbrochen ist. Zwar hatte Tissot selbst in einem Falle, in welchem dieser Bedingung nicht entsprochen war, keine Übertragung erhalten, doch rührte dieser Mifserfolg wahrscheinlich von mangelnder Empfindlichkeit seiner Apparate her. Die langen Wellen, die in der drahtlosen Telegraphie Verwendung finden — möglicherweise handelt es sich um Wellenlängen zwischen 100 und 200 m — müssen durch Beugung sogar ausgedehnte Hindernisse, die sich auf ihrem Wege befinden, umgehen.

Die Forderung, dafs beide Antennen sich in vertikaler Stellung befinden sollen, scheint ebenfalls nicht die unbedingte Geltung zu haben, die man ihr anfangs zugeschrieben hatte. Im allgemeinen soll dieselbe zwar erfüllt werden, doch konnte Tissot bei geneigten Antennen keine Verschlechterung der Übertragung bemerken, solange auf jeder Station der Winkel zwischen der Antenne und der Vertikallinie, sowie der Winkel zwischen der Vertikalebene, die man sich durch die Antenne gelegt denken kann, und der Verbindungslinie zwischen den beiden Stationen unter der Grenze von 40° blieb. Besser ist es freilich, die Antennen auf den beiden Stationen wenn möglich zueinander parallel und gleichzeitig so aufzustellen, dafs die Vertikalebenen, in welche die Antennen fallen, zur Verbindungslinie der Stationen senkrecht liegen.

Ungemein wichtig ist eine gute Isolierung der Aufhängevorrichtung der Antenne. In der Regel befestigt man das obere Ende der Antenne an einem Ebonitstück, das von einem Porzellanisolator getragen wird. Die Antenne soll ferner auf ihrer ganzen

Länge von dem Pfahl, an welchem sie hängt, und ebenso von anderen leitenden Körpern möglichst weit entfernt sein; wo dies nicht in genügendem Mafse geschehen kann, soll die Antenne einen Guttaperchaüberzug erhalten. Für nicht minder wichtig galt auch eine gut leitende Verbindung der Antenne mit der Erde; man glaubte, dafs von der Güte dieser Erdverbindung die Tragweite der Signale zum guten Teile abhänge. (Später haben sich freilich die Meinungen in dieser Hinsicht wiederum geändert.) Es galt deshalb für unbedingt notwendig, durch einen langen, gut leitenden Draht von möglichst geringer Selbstinduktion eine sichere Erdverbindung herzustellen. Allerdings haben wir erfahren, dafs von der Erde aus nach einer im Korbe eines Luftballons untergebrachten Empfangsstation Zeichen übertragen wurden, obschon die letztere in diesem Falle natürlich keine Erdverbindung besafs; es scheint also eine solche doch nur für die Sendestation von Belang zu sein.

Die Dicke und das Material des Drahtes, aus welchem die Antenne besteht, beeinflufst in gewissem Grade die Qualität der Funken im Oszillator. Es ist begreiflich, dafs durch Verbindung einer mehr oder minder grofsen Kapazität mit dem Oszillator die Funken voller und stärker werden müssen, wenn auch vielleicht dafür das Entladungspotential und damit die Länge der Funken herabgesetzt wird. Bei seinen ersten Versuchen benutzte Marconi, wie wir sahen, grofse isoliert aufgehängte Metallplatten, die mit dem Wellenerzeuger oder dem Empfänger verbunden wurden; gerade diesen Platten und nicht so sehr den Drähten, durch welche dieselben mit den übrigen Apparaten in Verbindung standen, hatte ja Marconi anfangs den Hauptanteil des Erfolges zugeschrieben. Spätere Erfahrungen haben allerdings diese Auffassung nicht bestätigt; sowohl Marconi selbst wie die Reihe derer, die nach seinen ersten Versuchen sich ebenfalls mit drahtloser Telegraphie zu beschäftigen begannen, benutzten deshalb als Antennen einfache Kupferdrähte, deren Dicke 1 mm oder noch weniger betrug und die in manchen Fällen aufserdem mit Guttaperchaumhüllung versehen wurden, oder auch mehrere solche Drähte, die zu einem Seil vereinigt waren; für mittlere Distanzen wurden auch mit Drähten aus Eisen oder Stahl an Stelle derjenigen aus Kupfer zufriedenstellende Resultate erhalten. Als aber die Übertragung auf immer weitere Entfernungen ausgedehnt werden sollte, zeigte es sich, dafs die gesteigerte Empfindlichkeit des Empfängers,

von der man den Erfolg erwartet hatte, für sich allein nicht genügte und dafs es gleichzeitig notwendig war, bei möglichst geringer Selbstinduktion die Kapazität der Antenne zu steigern. Wir sehen deshalb, dafs bei den heute in Gebrauch befindlichen oder vorgeschlagenen Systemen der einfache Draht oder das Drahtseil als Antenne zumeist aufgegeben ist; statt dessen verwendet man entweder mehrere von diesen Antennen, die in geeigneter Entfernung voneinander aufgehängt werden, oder eine Anzahl paralleler Drähte, die in einer Ebene oder als Mantellinien eines Zylinders angeordnet und an den Enden miteinander verbunden sind. Hierher gehört z. B. die in Fig. 148 abgebildete Antenne von Slaby sowie die Antenne von Guarini. Oder man benutzt eine Anzahl von Drähten, die zusammen einen mit der Spitze nach

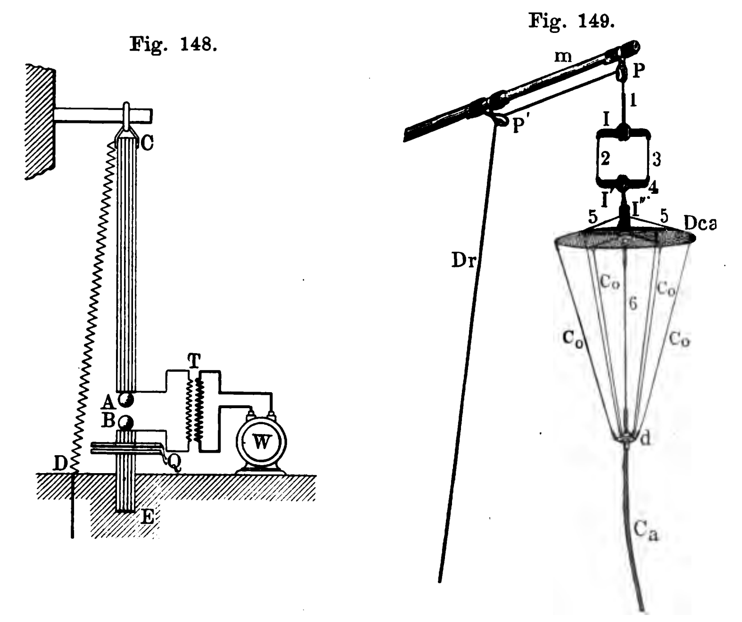


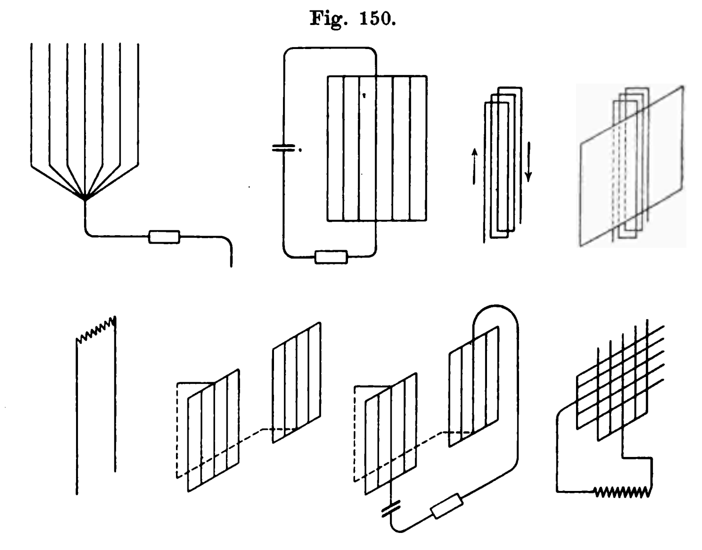
Fig. 148.

Fig. 149.

unten gerichteten Kegelmantel bilden und oben entweder unmittelbar miteinander verknüpft oder am Umfang einer ebenen Metallfläche befestigt sind — diese Anordnung findet sich z. B. bei einer anderen Antenne von Guarini, sowie bei der Antenne von Ducretet (Fig. 149). Noch komplizierter sind die von Braun vorgeschlagenen Antennen. Dieselben bestehen, wie Fig. 150 (a. f. S.) zeigt, aus einer Anzahl paralleler Drähte, die am einen Ende oder auch an beiden Enden miteinander verbunden sind; zwei dieser Anord-

nungen können in Serienschaltung vereinigt und nebeneinandergestellt oder es kann die eine kreuzweise vor der anderen befestigt sein. Bei anderen, ebenfalls in Fig. 150 skizzierten Anordnungen formt Braun einen Draht zu einer Reihe übereinandergelagerter Rechtecke, in die eine Metallplatte eingeschoben wird. Alle diese Anordnungen verfolgen den Zweck, die Fähigkeit der Antenne zur Aufnahme und Aussendung von Wellen zu steigern, ohne gleichzeitig die Kapazität des Systems entsprechend zu erhöhen. Andere Erfinder dagegen strebten gerade nach Erhöhung der Kapazität, weil

Fig. 150.



diese ein Mittel bietet, um die Schwingungsperioden eines Sende- und eines Empfangsapparats aufeinander abzustimmen. Zu diesem Zwecke benutzt die „Wireless Telegraph and Signal Company“ neuerdings Antennen aus zwei konzentrischen Blechzylindern; die beiden Zylinder sind voneinander isoliert und der äufsere wird mit der isolierten Seite des Oszillators oder des Empfängers, der innere mit der zur Erde abgeleiteten Seite desselben verbunden.

Eine Antenne aus einem Draht oder Drahtseil mit einem dasselbe konzentrisch umgebenden Blechzylinder schlägt auch Guarini vor[10]). Doch ist hier der innere Draht oder das Kabel isoliert und mit dem Sende- oder Empfangsapparat, der Blechzylinder mit der Erde verbunden; der Zwischenraum zwischen Draht und Zylinder ist mit einer isolierenden Masse ausgefüllt und der Zylinder selbst ist längs einer Mantellinie offen. Diese Anordnung soll nach

Guarini den Austausch von Signalen zwischen zwei Stationen nur dann gestatten, wenn beide die Spalten in den metallenen Umhüllungen ihrer Antennen einander zukehren. Nach der Ansicht des Erfinders soll nämlich die beschriebene Antenne nur senkrecht zur Oberfläche des Zylinders und zwar lediglich in der durch den Spalt der Blechhülle bestimmten Ebene oder höchstens innerhalb eines durch die Ränder des Spaltes begrenzten engen Winkels ihre Wellen aussenden; und ebenso soll sie als Empfänger ausschliefslich oder doch vorzugsweise solche Wellen aufnehmen, die innerhalb der entsprechenden Ebene oder des entsprechenden Winkels zu ihr gelangen. Wäre diese Ansicht richtig, so würde in der Tat der Austausch von Nachrichten zwischen zwei Stationen nur dann möglich sein, wenn die Ebene, innerhalb deren die eine ihre Signale aussendet, mit der Ebene zusammenfällt, auf welche die Aufnahmemöglichkeit der anderen beschränkt ist; eine dritte Station ohne entsprechend eingestellte Antenne würde mit keiner von beiden in Verkehr treten können und ebenso könnten die Signale nur dann in mifsbräuchlicher Weise aufgefangen werden, wenn der Spalt in der Antenne des hierzu benutzten Apparats sich in der richtigen Ebene befände. Es ist indessen mehr als fraglich, ob die geschilderte Antenne, zumal bei Ubertragung auf gröfsere Entfernungen, wirklich die Zone, innerhalb deren der Erreger seine Wellen aussendet, irgendwie zu beschränken vermag. Diese Kritik trifft ohne weiteres auch die von Schäfer, Renz und Lippold[11]) vorgeschlagenen, dem geschilderten ähnlichen Apparate.

Auch die von zwei amerikanischen Erfindern, Kitsee und Wilson, konstruierten Antennen, welche die Richtung bestimmen sollen, aus der elektrische Wellen den Empfangsapparat treffen, dürften ihre Aufgabe schwerlich erfüllen. Der in Fig. 151 (a. f. S.) abgebildete Apparat von Kitsee[12]) hat als wesentlichen Bestandteil vier isolierte Metallplatten $b\, b_1\, b_2\, b_3$, die von einem gemeinsamen Pfahl getragen werden und nach den vier Himmelsrichtungen orientiert sind. Durch vier Drähte $c\, c_1\, c_2\, c_3$ stehen dieselben mit vier gesonderten Empfangsapparaten $d\, d_1\, d_2\, d_3$ in Verbindung, die in der gewöhnlichen Weise zur Erde abgeleitet sind. Um die Richtung, aus welcher die Wellen kommen, noch besser präzisieren zu können, sollen statt der vier auch sechs Platten und Empfangsapparate verwendet werden. Die Erfinder glauben nämlich, dafs jede Antenne vorzugsweise, wenn nicht ausschliefslich, auf Wellen reagieren werde, die aus einer bestimmten Richtung zu ihr

kommen. Die bis jetzt in der drahtlosen Telegraphie gewonnenen Erfahrungen lehren indessen übereinstimmend, daſs Apparate, die so nahe zueinander aufgestellt sind, wie es bei den Antennen von Kitsee und Wilson der Fall ist, von sämtlichen auf sie treffenden Wellen in gleicher Weise beeinfluſst werden und daſs die verschiedene Orientierung der Auffangeplatten hieran nicht das mindeste ändern kann.

Damit ist über einen anderen Apparat von Kitsee und

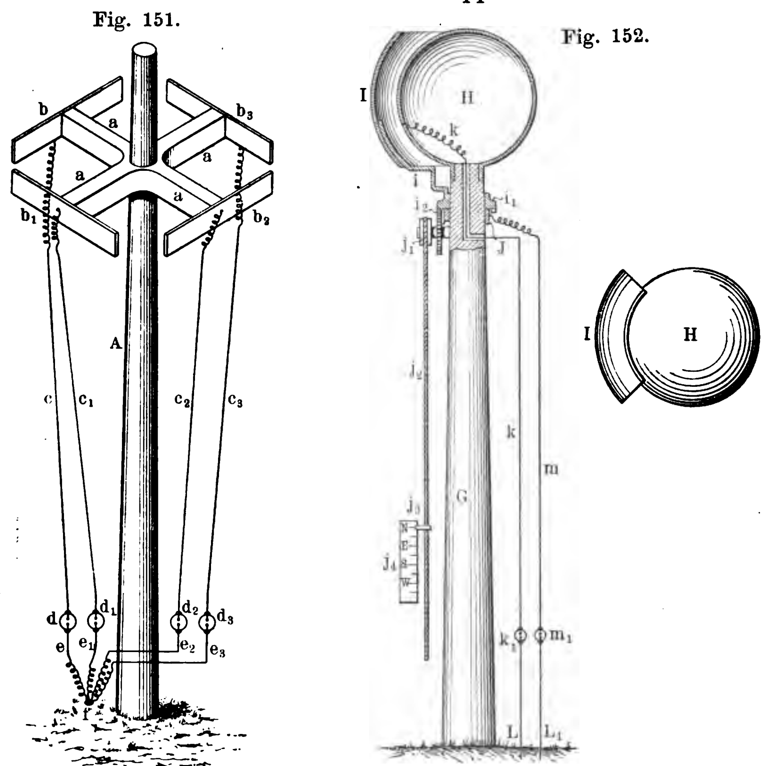


Fig. 151.

Fig. 152.

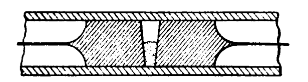
Wilson[13]), der auf dem gleichen Gedanken beruht wie der vorige, ebenfalls das Urteil gesprochen. Der Vollständigkeit halber mag derselbe dennoch erwähnt werden. Ein Pfahl G (Fig. 152) trägt oben eine Metallkugel H, die durch den Draht k mit dem zur Erde abgeleiteten Empfänger k_1 in Verbindung steht. Eine Metallplatte I, welche die Gestalt eines Kugelsegments von etwas gröſserem Radius als die Kugel H hat und zu dieser konzentrisch ist, kann durch ein Zahngetriebe i_2 und die endlose Kette $j_1 j_2 j_3$ um H in Drehung

versetzt werden; die Stellung von I wird auf einer am unteren Ende des Pfahles angebrachten Kreisteilung abgelesen. Die Platte I ist von den übrigen Teilen des Apparats isoliert und steht mit einem eigenen Empfänger m_1 in Verbindung. Nach den Erfindern soll die Stellung der Platte I über die Richtung Auskunft geben, aus welcher elektrische Wellen den Apparat treffen; befindet sich nämlich I gerade in dieser Richtung vor der Kugel B, so soll nach Kitsee und Wilson der Empfänger k_1 zu funktionieren aufhören und nur noch m_1 die ankommenden Wellen aufnehmen. Es ist aber ziemlich sicher, dafs auch bei diesem Apparat wie bei dem vorigen beide Empfänger vollkommen gleichzeitig der Einwirkung der ankommenden elektrischen Wellen unterliegen.

53. Verschiedene Formen von Wellenindikatoren.

Das wichtigste Organ einer Empfangsstation für drahtlose Telegraphie ist der Radiokonduktor, dessen elektrischer Leitungswiderstand durch die Wellen, welche von der Sendestation her zu ihm gelangen, eine vorübergehende oder dauernde Änderung erfährt. Bis jetzt hat von den verschiedenen Arten von Radiokonduktoren, die wir an anderer Stelle kennen gelernt haben, für die Zwecke der drahtlosen Telegraphie fast ausschliefslich die Feilichtröhre oder der Kohärer Verwendung gefunden; die Bestrebungen der Erfinder galten nicht so sehr der Entdeckung anderweitiger Mittel, als vielmehr der Erhöhung seiner Empfindlichkeit und der Auffindung der für die Praxis am besten geeigneten Form. Die Gestalt, die Marconi dem Kohärer seit seinen ersten Versuchen gegeben hat, haben wir bereits kennen gelernt; dieses Modell wird seitdem von der „Wireless Telegraph and Signal Company“ angewendet. Nur die Silberelektroden erfuhren eine geringfügige Abänderung; die Endflächen derselben wurden nicht mehr senkrecht, sondern, wie Fig. 153 zeigt, schräg abgeschnitten, so dafs zwischen denselben ein keilförmiger Zwischenraum frei blieb. Aber nicht einmal diese

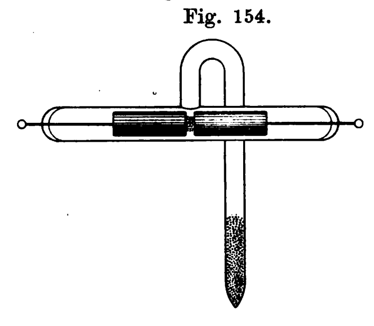
Fig. 153.



Änderung scheint allgemeine Annahme gefunden zu haben; andere Systeme der drahtlosen Telegraphie benutzen noch jetzt den Kohärer der „Wireless Telegraph and Signal Company“ in seiner ursprünglichen Gestalt. Immerhin beruht die Sicherheit und Empfindlichkeit, mit welcher der Marconische Kohärer funktioniert, auf einer ungemein sorgfältigen Auswahl der Feilichtkörner und

auf der Beobachtung einer Menge von Einzelheiten während seiner Herstellung; man hat darum gesucht, das gleiche Ergebnis auch unter Bedingungen zu erzielen, die technisch leichter eingehalten werden können. Um die Empfindlichkeit des Kohärers auch nach seiner Fertigstellung verändern und um dieselbe, falls sie durch den Gebrauch abgenommen haben sollte, wieder herstellen zu können, versieht Blondel die Kohärerröhre über dem Zwischenraum zwischen den Elektroden mit einer Ansatzröhre in Gestalt eines umgekehrten U (Fig. 154); in dem nach abwärts gebogenen Schenkel derselben befindet sich ein Vorrat von Feilspänen, von denen man durch Bewegung der Röhre einen Teil zwischen die Elektroden bringen kann; ebenso kann man die zwischen den Elektroden vorhandenen Späne teilweise entfernen oder mit neuem Material vermischen. Um zu verhindern, dafs die Feilspäne durch den Zwischenraum zwischen der Rohrwandung und den Elektroden in die äufseren Teile der Kohärerröhre gelangen, befinden sich zu beiden Seiten derselben Pfropfen aus einem Amalgam, welches in teigartigem Zustande in die Röhre eingeführt wird und nach dem Erstarren fest an der Wandung derselben haftet.

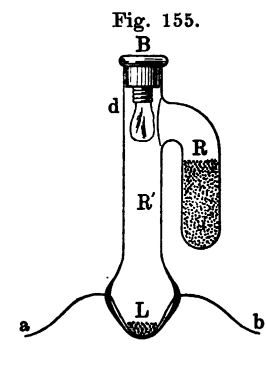
Fig. 154.



Den gleichen Zweck wie der Blondelsche verfolgt ein anderer Kohärer von Ducretet (Fig. 155), dessen Elektroden einfach aus Platindrähten bestehen.

Ungemein wichtig sowohl für die Empfindlichkeit des Kohärers als für die Regelmäfsigkeit seines Funktionierens ist der Oxydationsgrad der Feilspäne. Statt der von Marconi benutzten Mischung von Feilspänen verschiedener Metalle empfiehlt Blondel Feilspäne von Legierungen aus einem oxydierbaren und einem nicht oxydierbaren Metall; das günstigste Verhältnis zwischen den Mengen der beiden Metalle ist durch Versuche festzustellen. Gute Resultate erhält man nach Blondel mit Legierungen aus Silber und Nickel oder Kupfer (schweizerische oder amerikanische

Fig. 155.

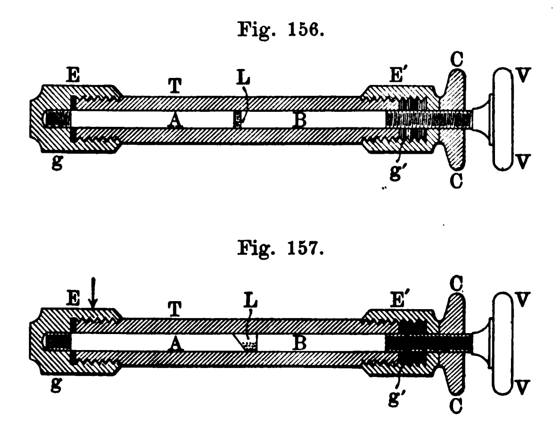


Nickelmünzen, bezw. russische Silbermünzen). Ist der Prozentsatz des oxydierbaren Metalles klein, so oxydiert sich die Legierung überhaupt nur, wenn man sie erhitzt; man kann den fertigen Feilspänen, indem man sie auf eine bestimmte Temperatur bringt, genau den erforderlichen Oxydationsgrad geben, der dann bei gewöhnlicher Temperatur völlig unverändert bleibt.

In einem „Praktischen Führer für die drahtlose Telegraphie" gibt E. Ducretet ins einzelne gehende Vorschriften für die Herstellung der Radiokonduktoren. Als Material für die Feilspäne zieht er reines Nickel vor. Mittels einer groben Feile lassen sich von demselben scharfkantige Späne lostrennen, die noch durch Siebe sortiert werden müssen; man benutzt nur diejenigen, die von einem Sieb Nr. 120 (mit 120 Öffnungen auf den Quadratzoll)

Fig. 156.

Fig. 157.

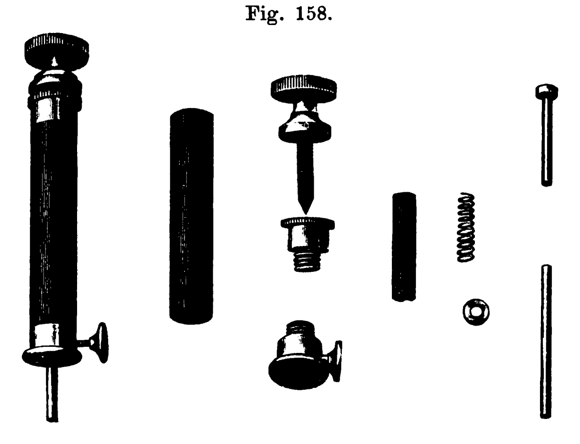


zurückgehalten und von einem Sieb Nr. 80 (d. h. einem Sieb, welches auf den Quadratzoll 80 Öffnungen besitzt) durchgelassen werden. Diese Späne werden auf einer polierten Stahlfläche an der Luft erhitzt, bis der Stahl eine goldgelbe Farbe angenommen hat; sie haben dann den richtigen Oxydationsgrad erlangt und behalten denselben, wenn man sie in einer trockenen Atmosphäre aufhebt. Der Ducretetsche Radiokonduktor ist in Fig. 156 und 157 im Horizontal- und Vertikalschnitt abgebildet. Die Röhre desselben ist aus Ebonit; als Elektroden dienen Zylinder aus Nickel oder auch aus Eisen, Neusilber oder Silber, deren einander zugekehrte Endflächen gut poliert sein müssen; eine dieser Endflächen steht senkrecht, die andere steht schräg zur Achse der Röhre. Die Zahl und Ausdehnung der Berührungsstellen zwischen den Feil-

spänen und den Elektroden und damit die Empfindlichkeit der Röhre läſst sich regeln, indem man die eine Elektrode vermittelst einer Schraube, die in einer am Ende des Rohres angebrachten Metallfassung ihre Führung hat, vor- oder rückwärts bewegt; die andere Elektrode ist fest mit einer zweiten Metallfassung verbunden. Die beiden Fassungen dienen gleichzeitig dazu, den Kohärer in den Stromkreis der übrigen Apparate einzuschalten. Weder dieser Kohärer noch der andere Ducretetsche, den wir in Fig. 155 kennen gelernt haben, wird luftleer gepumpt; nach Ducretet erhält sich die Empfindlichkeit auch ohne dieses Mittel vollkommen unverändert, wenn man durch Einführung eines Stückchens Kalziumkarbid dafür sorgt, daſs die Luft in der Röhre trocken bleibt.

Auf noch einfachere Weise als Ducretet reguliert die „Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft“ die Empfindlichkeit des Kohärers.

Fig. 158.



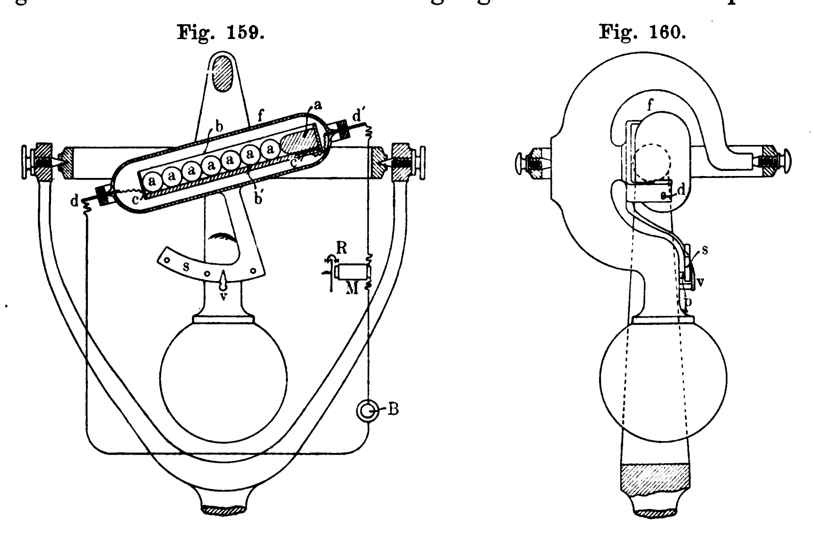
Die Elektroden sind, wie in Fig. 153, schräg abgeschnitten und der Zwischenraum zwischen denselben ist durch die Feilspäne nicht vollständig ausgefüllt; man braucht dann nur die Röhre um ihre Achse zu drehen, so verteilen sich die Feilspäne über einen mehr oder minder breiten Zwischenraum zwischen den Elektroden und danach ändert sich auch die Zahl und Ausdehnung der Kontakte.

Der Kohärer der „Gesellschaft für drahtlose Telegraphie“, dessen Auſseres und einzelne Teile in Fig. 158 abgebildet sind, enthält in einer Ebonitröhre Pulver von gehärtetem Stahl zwischen den polierten Endflächen zweier Stahlelektroden. Die Röhre ist nicht luftleer. Von den Elektroden, die durch zwei an den Enden

der Röhre angebrachte Metallfassungen gehen, ist die eine mittels einer Schraube verstellbar, die andere ragt aus der Röhre ein Stück weit heraus zwischen die Pole eines permanenten Magneten. Durch Verschiebung dieses letzteren kann man es dahin bringen, daſs die Wirkungen beider Pole auf die Elektrode sich gegenseitig aufheben oder daſs die Elektrode im einen oder anderen Sinne mehr oder minder stark magnetisiert wird. Von dem Grade dieser Magnetisierung wird die Empfindlichkeit des Kohärers beeinfluſst.

Nach Tissot ist übrigens eine groſse Empfindlichkeit der Feilichtröhre keineswegs immer wünschenswert; sie kann sogar, wenn nur auf mittlere Entfernungen telegraphiert werden soll, geradezu von Nachteil sein. Als geeignetstes Material empfiehlt

Fig. 159. Fig. 160.



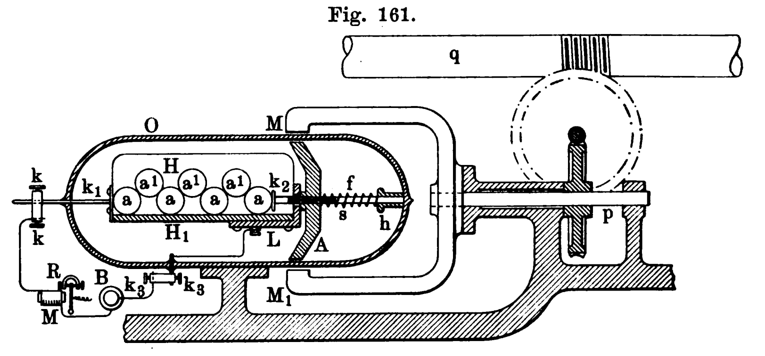
Tissot entweder die von Ducretet angewendeten schwach oxydierten Nickelspäne, die von einem Sieb Nr. 100 zurückgehalten, von einem Sieb Nr. 80 durchgelassen werden, oder Feilspäne aus Silber mit einem dünnen Überzug von Schwefelsilber (Gröſse der Späne zwischen Nr. 100 und Nr. 120), oder endlich Späne von Chromstahl (Gröſse zwischen Nr. 100 und Nr. 120).

Um die Empfindlichkeit des Kohärers auf bequeme Weise regulieren zu können, wollen Orling und Braunerhjelm[14]) denselben aus einer Anzahl von Kugeln aus leitendem Material herstellen, die sich zwischen zwei Elektroden innerhalb einer teilweise luftleer gepumpten Röhre befinden. Die Empfindlichkeit

dieses Kohärers ist durch den Druck zwischen den Kugeln bedingt und dieser läſst sich verändern, indem man der Röhre mittels der in Fig. 159 und 160 (a. v. S.) abgebildeten Vorrichtung eine verschiedene Neigung gibt. Damit sich ihre Lage nicht zufällig verändert, ist die Röhre in einer cardanischen Aufhängung montiert.

In einem zweiten, ebenfalls von Orling und Braunerhjelm[15]) erfundenen Apparate soll die Empfindlichkeit auf etwas andere Weise reguliert werden. Die Kugeln bilden anstatt einer einzigen Reihe deren zwei, die wie in Fig. 161 übereinander gelagert sind. Der Druck, mit dem die Kugeln der oberen auf denjenigen der unteren Reihe lasten, hängt von dem Abstand zwischen den benachbarten Kugeln der letzteren ab; und dieser Abstand wird geregelt durch die entgegengesetzten Wirkungen der Spiralfeder *s*, welche die Stange *f* vorwärtszuschieben strebt, und des Eisenstückes *A*, dessen

Fig. 161.



Lage durch den Magneten *M* bestimmt ist; dieser letztere kann durch ein Getriebe mit Schraube ohne Ende vor- oder rückwärts bewegt werden.

Um dem Radiokonduktor, nachdem die Einwirkung der Wellen auf denselben ihr Ende erreicht hat, den ursprünglichen Widerstand zurückzugeben, bedarf es, wie wir bereits an anderer Stelle erfahren haben, einer leichten Erschütterung der Röhre. Eine gewisse Stärke der Erschütterung ist erforderlich, um den beabsichtigten Zweck mit Sicherheit zu erreichen; die Erschütterung darf aber auch nicht zu stark sein, wenn nicht die Empfindlichkeit des Apparates Schaden leiden soll. Durch welches Mittel die Erschütterung hervorgebracht wird, ist an und für sich gleichgültig. Lodge hatte dazu ein durch eine Feder getriebenes Uhrwerk benutzt; besser eignet sich für diesen Zweck der elektrische Hammer, der zuerst von Popoff und dann von Marconi hierfür

verwendet worden ist und auch in die Systeme anderer Erfinder Eingang gefunden hat. In § 46 haben wir gesehen, wie bei der Anordnung von Popoff der elektrische Hammer funktioniert. Marconi gebraucht eine etwas andere Anordnung: der Hammer trifft den Radiokonduktor in dem Augenblick, in welchem er von dem Elektromagneten angezogen wird; der Stromkreis dieses letzteren wird also erst unterbrochen, nachdem der Kohärer bereits erschüttert worden ist. Dadurch ist allerdings die Möglichkeit gegeben, dafs der Unterbrechungsfunke auf den Kohärer einwirkt und demselben die eben erst zerstörte Leitfähigkeit alsbald wieder zurückgibt. Um dies zu verhindern, bedarf es besonderer Vorrichtungen, von denen bei Beschreibung der Marconischen Apparate bereits die Rede gewesen ist.

Bei den Apparaten von Ducretet trifft der Hammer den Kohärer, ganz wie bei der ursprünglichen Einrichtung von Popoff, erst im Verlauf der Rückwärtsbewegung, die er unter der Einwirkung einer elastischen Feder antritt, nachdem er von dem Elektromagneten angezogen und wieder losgelassen wurde. Auf diese Weise kommt der Unterbrechungsfunke in einem Augenblick zu stande, in welchem das Feilicht die durch die Wellen erzeugte Leitfähigkeit noch nicht wieder verloren hat; er kann also keinen Schaden anrichten. Andere Erfinder wollen dies auch dadurch verhindern, dafs sie den Elektromagneten mit seinem Anker in gröfserer Entfernung vom Kohärer aufstellen und den Hammer, der den Kohärer zu erschüttern hat, vom Elektromagneten aus durch pneumatische Übertragung vermittelst Mareyscher Trommeln in Bewegung setzen; allein diese Anordnung beseitigt ebensowenig wie die vorige den Einflufs der Stromunterbrechungen im Morseapparat und im Relais. Diesem Einflufs mufs man durch Vorrichtungen nach Art der von Marconi benutzten zu begegnen suchen.

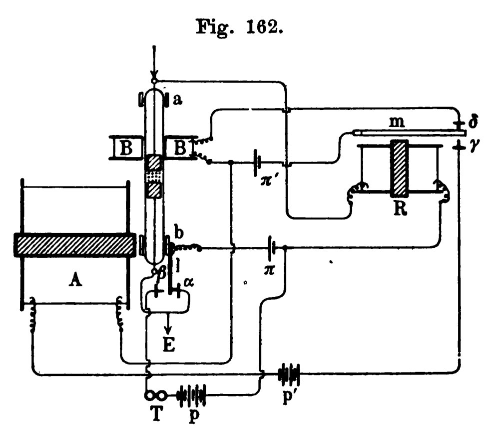
Es hat auch nicht an Versuchen oder Vorschlägen gefehlt, um wenigstens beim Kohärer den elektromagnetischen Hammer ganz zu vermeiden und die Leitfähigkeit der Feilspäne durch andere Mittel wieder aufzuheben. So erteilt Rupp[16]) durch das Uhrwerk, welches den Papierstreifen des Morseapparats in Bewegung setzt, gleichzeitig auch der Röhre des Kohärers eine beständige Drehung um ihre Achse; Dell[17]) läfst die Feilspäne, während sie der Einwirkung der Wellen unterliegen, aus einer Trichteröffnung ausfliefsen. Einen praktischen Erfolg haben jedoch weder diese noch andere ähnliche Vorrichtungen gehabt.

Verwendet man als Material für die Feilspäne des Kohärers ein magnetisches Metall, wie Eisen, Nickel oder Kobalt, so läfst sich nach Beobachtungen von Tissot[18]) die Empfindlichkeit des Kohärers bedeutend steigern und es lassen sich die Unregelmäfsigkeiten, die dem Verhalten desselben sonst manchmal anhaften, beseitigen, falls man den Kohärer in ein Magnetfeld bringt, dessen Kraftlinien parallel zur Achse des Kohärers gerichtet sind. Am besten erzeugt man dieses Magnetfeld vermittelst eines Elektromagneten; durch passende Wahl der Stärke des magnetisierenden Stromes läfst sich die Empfindlichkeit des Instruments auf die einfachste Weise regulieren. Das Magnetfeld bietet ferner den Vorteil, dafs man den Kohärer selbst mit einem galvanischen Element von gröfserer elektromotorischer Kraft verbinden darf, als dies ohne Anwendung des Magnetfeldes zulässig wäre. Diese elektromotorische Kraft darf nämlich, wie wir in § 40 erfahren haben, eine gewisse Grenze nicht überschreiten, da andernfalls der Kohärer trotz der Erschütterungen durch den Hammer die Leitfähigkeit, die er unter der Einwirkung elektrischer Wellen erlangt hatte, nicht wieder einbüfsen würde. Jene Grenze der zulässigen elektromotorischen Kraft im Kohärerkreise liegt nun um so höher, je gröfser der Abstand zwischen den Elektroden des Kohärers ist. Bei einem Kohärer der gewöhnlichen Art darf aber dieser Abstand kaum mehr als 1 mm betragen, wenn nicht die Empfindlichkeit des Apparats beträchtlichen Schaden leiden soll; dagegen kann nach Tissot bei dem magnetischen Kohärer der Abstand zwischen den Elektroden ohne Nachteil bis auf 6 oder 8 mm gebracht werden. Die Regulierung der Empfindlichkeit gestaltet sich besonders leicht, falls auch die Elektroden des Kohärers aus magnetischem Material bestehen, da man in diesem Falle, wie wir bereits bei dem Kohärer der „Gesellschaft für drahtlose Telegraphie“ gesehen haben, das Magnetfeld ganz einfach in der Weise erzeugt oder verändert, dafs man dem Kohärer einen permanenten Hufeisenmagneten mehr oder weniger nahe bringt. Bei dem Kohärer der „Gesellschaft für drahtlose Telegraphie“ ragt eine der Elektroden zwischen die Pole des Magneten; Tissot dagegen bringt den Magneten oberhalb der Röhre an und gibt den Elektroden ungefähr die in Fig. 153 (S. 329) dargestellte Form. Wird das Magnetfeld durch einen Elektromagneten oder eine Drahtspule erzeugt, so kann man bei dieser Anordnung sogar den Hammer und seinen Elektromagneten vollständig entbehren; die Unterbrechung des magnetisierenden

Stromes durch das in den Stromkreis des Kohärers eingeschaltete Relais ist vermöge der geringen Erschütterung, welche mit dem Verschwinden des Magnetismus verbunden ist, oder auch an und für sich schon hinreichend, um den Widerstand des Kohärers selbsttätig wieder herzustellen.

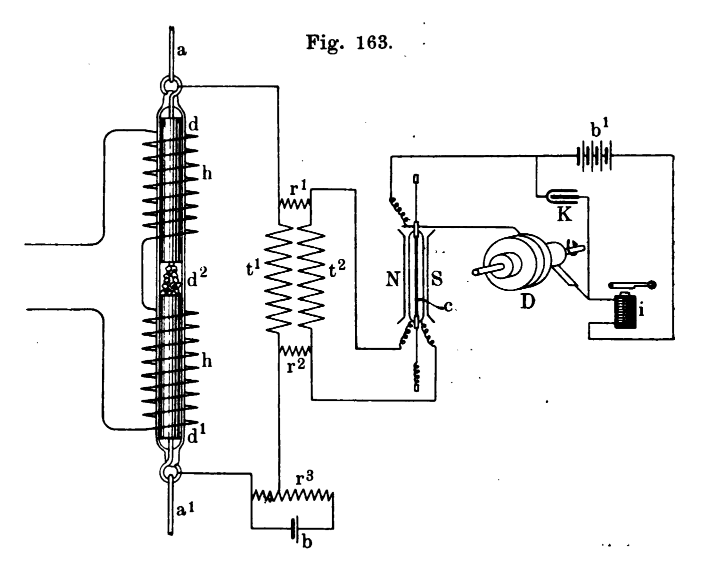
An Vorschlägen, diese Eigenschaften des magnetischen Kohärers praktisch zu verwerten, hat es nicht gefehlt. Turpain[19]) hängt den Kohärer, wie in Fig. 162 dargestellt, um eine horizontale Achse drehbar in vertikaler Stellung auf; am unteren Ende trägt die Röhre des Kohärers eine eiserne Fassung b, die von einem Elektromagneten A angezogen wird. Der Apparat funktioniert folgendermaſsen. Wird der Kohärer durch Einwirkung elektrischer Wellen leitend, so flieſst durch ihn der Strom der Batterie π; das Relais R tritt in Tätigkeit und zieht den Anker m an, der den Kontakt mit δ unterbricht und dafür mit γ in Berührung tritt. Der Stromkreis der Spule B, welche, solange sie von dem Strom der Batterie π' durchflossen wurde, rings um den Kohärer ein Magnetfeld unterhalten hatte, wird durch die angegebene Bewegung unterbrochen; dafür verbinden sich nunmehr die Batterien π' und p' miteinander und senden ihren Strom durch die Windungen des Elektromagneten A, der die eiserne Fassung b der Kohärerröhre anzieht und diese um ihre Drehungsachse in Schwingung versetzt. Infolgedessen verläſst der an b befestigte Hebel l den Kontakt α und kommt in Berührung mit β; die Batterien p und π verbinden sich miteinander und setzen den Telegraphenapparat T in Tätigkeit. Durch die Entfernung des Hebels l von α wird aber gleichzeitig auch der Strom des Relais unterbrochen und der Anker m, der nicht mehr von R angezogen wird, schlieſst von neuem den Stromkreis des Elektromagneten B; die leichte Erschütterung, welche der Kohärer bei der Schwingung um seine Achse erfahren hatte, hat unterdessen auch die Leitfähigkeit der Feilspäne zerstört. Der

Fig. 162.



Apparat ist also vollständig in seinen Anfangszustand zurückgekehrt und verbleibt in demselben, falls die Einwirkung der Wellen inzwischen aufgehört hat; dauert dieselbe dagegen noch an, so wiederholen sich die geschilderten Bewegungen, solange elektrische Wellen den Kohärer treffen; dabei folgen die Schwingungen des letzteren um seine Achse so rasch aufeinander, dafs der Telegraphenempfänger dieselben nicht einzeln mitzumachen vermag, sondern ein zusammenhängendes Zeichen gibt. Nach Turpain könnte deshalb die geschilderte Vorrichtung, obschon sie zunächst für andere Zwecke bestimmt war, sehr wohl dazu geeignet sein, irgend einen rasch arbeitenden Telegraphenempfänger,

Fig. 163.

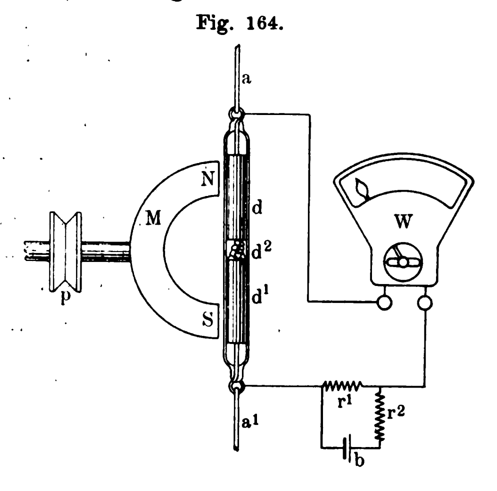


etwa den Hughesschen Typendrucker, vermittelst elektrischer Wellen zu betreiben.

A. Brown[20]) benutzt ebenfalls einen magnetischen Kohärer und zerstört die durch elektrische Wellen geweckte Leitfähigkeit entweder vermittelst einer von einem Wechselstrom durchflossenen Drahtspule oder vermittelst eines permanenten Magneten. Einer seiner Apparate ist in Fig. 163 abgebildet. dd^1 ist der Kohärer mit Nickelspänen zwischen eisernen Elektroden. Die Drähte aa^1 dienen dazu, die Wellen aufzufangen, bezw. den Kohärer mit der Erde in Verbindung zu setzen. Die Zerstörung der Leitfähigkeit vollzieht sich kontinuierlich vermittelst der Spulen hh, welche den

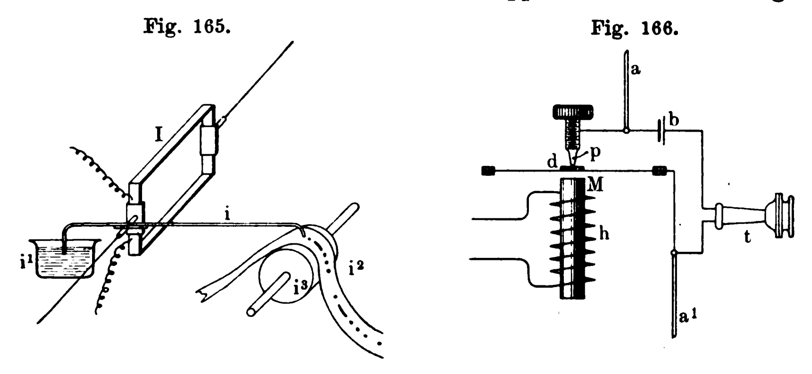
Kohärer umgeben und von einem Wechselstrom durchflossen werden. Ist der Kohärer durch die Einwirkung elektrischer Wellen leitend geworden, so wird er von einem Strome durchflossen, der von dem Schliefsungswiderstande r^3 der Batterie b abgezweigt ist; die Änderungen der Stärke dieses Stromes erzeugen in dem Transformator $t^1 t^2$ induzierte Ströme, die die bewegliche Spule c eines polarisierten Relais *NSD* durchfliefsen und die Schliefsung des Stromkreises einer zweiten Batterie b^1 veranlassen, welche den Elektromagneten i eines Morseapparates in Tätigkeit setzt.

Fig. 164.



Bei einem anderen Apparate (Fig. 164) ruft Brown die Zerstörung der Leitfähigkeit in kontinuierlicher Weise vermittelst der Rotation eines permanenten Magneten hervor. Bei diesem wie bei dem vorigen Apparate ist der durch Vermittelung eines Relais in Tätigkeit gesetzte Morseapparat nicht das einzige

Fig. 165. Fig. 166.

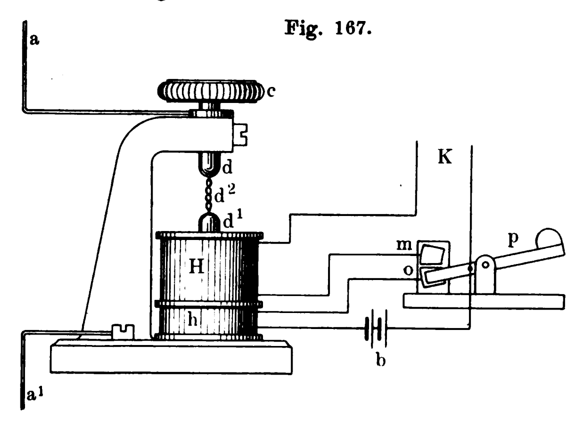


Mittel, um die eintreffenden Signale sichtbar zu machen. Der Erfinder benutzt dazu auch ein Drahtrechteck *I* (Fig. 165), welches um eine horizontale Achse drehbar in einem Magnetfelde aufgehängt ist. Dieses Rechteck ist unmittelbar in den Stromkreis des Kohärers eingeschaltet und wird also, wenn dieser leitend geworden ist,

von elektrischen Strömen durchflossen und infolgedessen aus seiner Gleichgewichtslage abgelenkt. Diese Ablenkungen werden durch einen mit dem Rechteck verbundenen Heberapparat aufgezeichnet.

Brown verwendet auch einen Kohärer mit einfachem Kontakt zwischen einer Metallspitze *p* (Fig. 166 a. v. S.) und einem Metallplättchen *d*, welches an einem eisernen Streifen befestigt ist. Dieser Kontakt ist in den Stromkreis einer Batterie und eines Telephons eingeschaltet. Die Zerstörung der Leitfähigkeit erfolgt beständig durch den von Wechselströmen erregten Elektromagneten *h*. Nach der Ansicht des Erfinders soll ein Ton, welcher der Frequenz dieses Wechselstromes entspricht, in dem Telephon nur dann hörbar sein, wenn der Kontakt unter dem Einflufs elektrischer Wellen steht; es ist aber nicht einzusehen, weshalb die intermittierende Anziehung seitens des von Wechselströmen erregten

Fig. 167.



Elektromagneten *H* die Telephonmembran nicht ebenso in Schwingungen versetzen soll, auch wenn keine Wellen auf den Apparat einwirken.

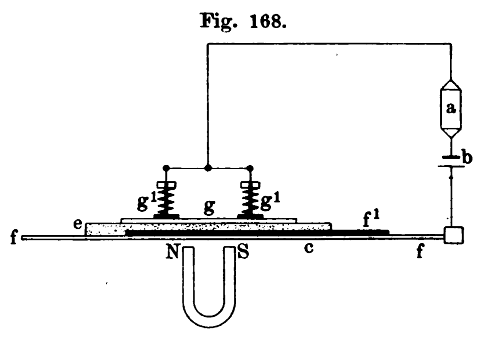
Derselbe Erfinder bringt noch eine andere Form eines Kohärers mit automatischer Zerstörung der Leitfähigkeit durch einen Wechselstrom-Elektromagneten in Vorschlag. Der in Fig. 167 abgebildete Apparat erinnert in gewisser Hinsicht an die auf S. 213 erwähnten Versuche von Tommasina. Die beiden Elektroden des Kohärers sind vertikal übereinander angeordnet, und die obere ist vermittelst einer Schraube in vertikaler Richtung verschiebbar. Zwischen ihnen bilden die magnetischen Feilspäne eine Art von Kette, deren Zusammenhang, solange keine Wellen auf den Apparat einwirken, dadurch gesichert ist, dafs die Feilspäne aus magnetischem Material

bestehen und die untere Elektrode die Polfläche eines Elektromagneten bildet, der durch einen in den Windungen *h* fliefsenden Strom erregt wird. Wenn die Einwirkung elektrischer Wellen begonnen hat, so wird durch Bewegung des Tasters *p* der Strom in den Windungen *h* unterbrochen und statt dessen durch andere Windungen *H* ein Wechselstrom geschickt, der die Leitfähigkeit zerstört.

Die Zerstörung der Leitfähigkeit durch Wechselstrom-Elektromagnete oder durch rotierende permanente Magnete scheint übrigens den Erfinder selbst nicht sonderlich befriedigt zu haben. Wenigstens beschreibt er gleichzeitig mit den auf dem geschilderten Verfahren beruhenden Apparaten auch einen Kohärer, neben dem sich aufser einem permanenten Magneten in fester Lage auch der gewöhnliche elektromagnetische Hammer befindet; diesem liegt die Vernichtung der Leitfähigkeit ob. Von dem Tissotschen Apparat weicht diese Vorrichtung ausschliefslich durch die vertikale Anordnung ab.

Ein Kohärer mit magnetischer Zerstörung der Leitfähigkeit wurde bereits im Jahre 1897 von Lodge und Muirhead[21]) vorgeschlagen. Der Apparat ist in Fig. 168 abgebildet. Die Feilspäne sind in einer Schicht *e* auf einer biegsamen Metallplatte *f* ausgebreitet, unter welcher sich ein Magnet *NS* befindet. Das eine Ende f^1 der Platte ist mit einem isolierenden Firnis überzogen, das andere Ende ist mit den Feilspänen in unmittelbarer Berührung. Eine zweite Platte *g* wird durch die Federn $g^1 g^1$ von oben gegen die Feilspäne geprefst. Werden diese unter der Einwirkung elektrischer Wellen leitend, so fliefst ein Strom von einer gewissen Stärke von *f* nach f^1 oder in entgegengesetztem Sinne; in beiden Fällen ist seine Richtung annähernd parallel zur Verbindungslinie der Pole des Magneten; die Platte *f* erleidet infolgedessen durch die Wirkung des Magnetfeldes eine Biegung, welche nach den Erfindern hinreichen soll, um den durch die elektrischen Wellen hervorgerufenen Zusammenhang zwischen den Feilspänen wieder aufzuheben und die letzteren für eine neue Beeinflussung vorzubereiten.

Fig. 168.



Armstrong und Orling[22]) stellen ihren Kohärer aus Stahlkugeln her, die von einer isolierenden Röhre eingeschlossen sind. Diese wird in horizontaler Stellung montiert und die Zerstörung der durch elektrische Wellen hervorgerufenen Leitfähigkeit wird durch zwei Elektromagnete bewirkt, die sich ober- und unterhalb der Röhre befinden. Nach der Patentbeschreibung sollen die Elektromagnete durch einen besonderen Strom erregt und nur die Schliefsung desselben soll durch das von dem Kohärerstrom betätigte Relais vorgenommen werden. Dagegen will Collins[23]), dessen Kohärer an denjenigen von Tissot mit schräg abgeschnittenen Elektroden erinnert, die Leitfähigkeit durch die Anziehung der Feilspäne seitens eines Elektromagneten zerstören, der oberhalb der Feilichtröhre angeordnet und unmittelbar in den Stromkreis des Kohärers eingeschaltet ist. Bekanntlich darf aber die Stromstärke im Kohärer, wenn derselbe auf die Dauer gut funktionieren soll, nicht mehr als ein paar Milliampère betragen, und es ist klar, dafs ein derartiger Strom kein Magnetfeld von hinreichender Intensität erzeugen kann, um auf die in der Röhre eingeschlossenen Feilspäne eine beträchtliche Anziehung auszuüben.

Eine Reihe von Empfangsapparaten haben Maréchal, Michel und Dervin[24]) vorgeschlagen. Einer dieser Apparate, bei dem ebenfalls, wenn auch in einer von der bisher geschilderten etwas abweichenden Art, die Leitfähigkeit durch magnetische Kräfte aufgehoben wird, besteht im wesentlichen aus einem Kohärer mit einfachem Kontakt zwischen einer Metallspitze und einer Telephonmembran; der Elektromagnet des Telephons wird von demselben Strome durchflossen wie der leitend gewordene Kontakt und hebt durch seine Anziehung auf die Membran die Leitfähigkeit wieder auf. Der Apparat ist in Fig. 169 abgebildet. Auf einem isolierenden Ring, in welchen die Membran *b* eines Telephons *a* gefafst ist, sitzt ein Träger *c*, in welchem sich die Schraube *d* bewegt; der Kontakt zwischen dem Ende dieser letzteren und der Membran bildet den Kohärer. Ist derselbe durch die von der Antenne *f* aufgefangenen elektrischen Wellen leitend geworden, so kann der Strom der Batterie *e* von *b* nach *a* übergehen und erregt den Elektromagneten des Telephons, der durch seine Anziehung auf *b* den eben entstandenen Kontakt wieder aufhebt.

Bei einem anderen, in Fig. 170 abgebildeten Apparat benutzen die Erfinder zwei Telephone, deren Membranen einander gegenüberstehen; zwischen denselben befindet sich eine Reihe von Metall-

kugeln. Der Weg des Stromes von einer Membran zur anderen, den die Einwirkung der elektrischen Wellen eröffnet, wird auch

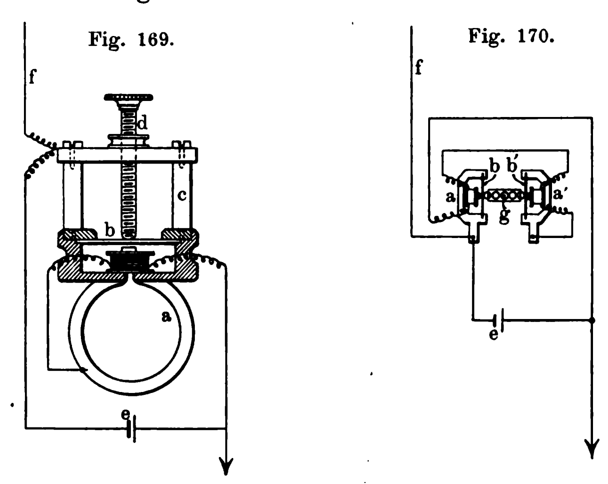


Fig. 169. Fig. 170.

hier durch die Anziehung der Membranen seitens der von demselben Strome durchflossenen Elektromagnete alsbald wieder unterbrochen. Damit der Apparat gut funktioniert, müssen seine

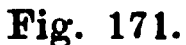
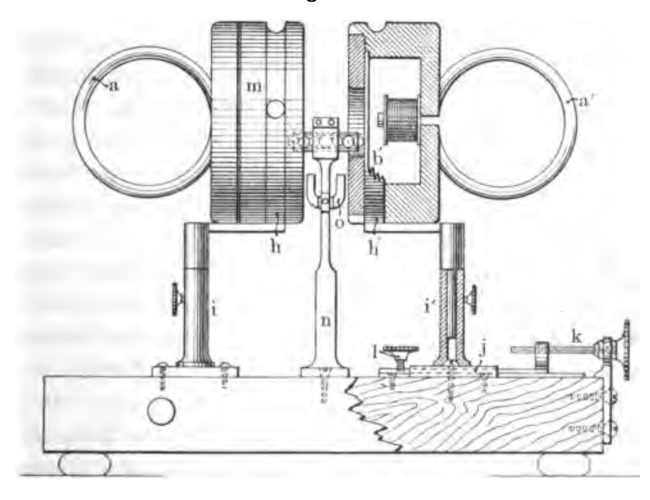


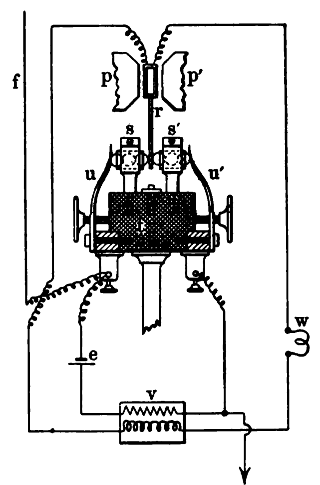
Fig. 171.



verschiedenen Teile mit Hilfe der in Fig. 171 sichtbaren Vorrichtungen sorgfältig eingestellt werden. Die beiden Telephone können vermittelst der Säulen *i i'* in verschiedene Höhe gebracht

werden; der Träger des einen ist aufserdem vermittelst einer Schlittenvorrichtung und Mikrometerschraube *k* in horizontaler Richtung beweglich. Der Druck zwischen den einzelnen Kugeln des Kohärers und zwischen diesen und den Telephonmembranen läfst sich auf solche Weise nach Bedarf variieren. Die Kugeln bestehen aus magnetischem Material (Eisen oder auch Nickel) und die Empfindlichkeit des Kohärers wird durch einen kleinen Magneten *o* erhöht, den man den Kugeln mehr oder minder nahe bringen kann. Endlich sind die Telephone innerhalb der Ringe *h* drehbar; man kann dadurch den Berührungspunkt zwischen der letzten Kugel der Reihe und der Membran verschieben, bis man die Stelle herausgefunden hat, an welcher die Empfindlichkeit am gröfsten ist.

Fig. 172.

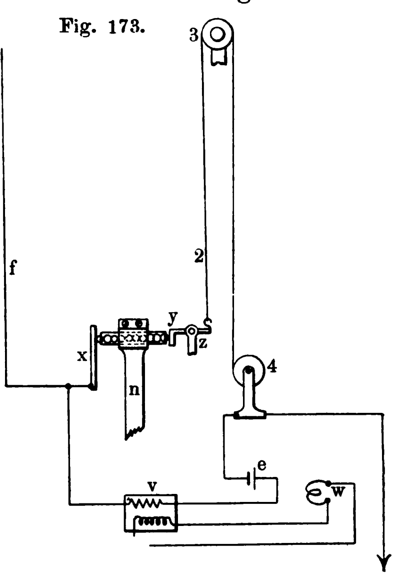


Ein dritter, ebenfalls von Maréchal, Michel und Dervin erfundener Apparat bewirkt die Aufhebung der Leitfähigkeit in etwas anderer Weise. Der Strom, der infolge der Einwirkung der Wellen seinen Weg durch den Kohärer gefunden hat, wird hier nicht direkt durch ein Telephon geschickt, sondern wirkt durch Induktion auf einen anderen Stromkreis, in den ein Empfangsapparat eingeschaltet ist; dieser letztere kann ein Telephon sein. Der Kohärer (Fig. 172) besteht aus einer Reihe von Kugeln *ss′*, die zwischen zwei elastischen Federn *uu′* einem veränderlichen Drucke ausgesetzt sind. In der Mitte der Reihe ist zwischen die Kugeln ein Metallstreifen *r* eingeschoben, der mit dem beweglichen Rahmen eines polarisierten Relais *pp′* in Verbindung steht. Der Stromkreis einer Batterie *e′* enthält die Primärwickelung eines Transformators *v*, in dessen Sekundärkreis der Empfänger *w* und der bewegliche Rahmen des Relais eingeschaltet sind. Die Wellen gelangen zu dem Kohärer durch Vermittelung der Antenne *f*. Mit der Leitfähigkeit desselben steigt die Intensität des Stromes, der zugleich den Primärkreis des Transformators durchfliefst; dadurch wird in dem Sekundärkreis des Transformators ein Strom induziert, der sich in dem Empfänger *w* kundgibt, zugleich aber dem beweglichen Rahmen des Relais und mit ihm dem Streifen *r* eine

Drehung erteilt, welche den durch die Wellen hergestellten Kontakt innerhalb des Kohärers wieder zerstört.

Dieselben Erfinder schlagen noch ein anderes Verfahren vor, um unmittelbar mit Hilfe des Stromes, welchem der leitend gewordene Kohärer den Durchgang gestattet, die Leitfähigkeit des letzteren wieder aufzuheben. Der Kohärer besteht, wie bei den früheren Anordnungen, aus einer Reihe von Metallkugeln zwischen zwei metallenen Widerlagern. Eines derselben ist fest mit dem Gestell des Apparats verbunden, das andere bildet einen um eine Achse *z* (Fig. 173) drehbaren Hebel, der auf die Kugeln einen Druck ausübt, solange ein an dem Hebel angreifender Draht 2 3 4 gespannt ist; läfst die Spannung des Drahtes nach, so vermindert sich auch der Druck. (In der Abbildung, welche der Patentbeschreibung entnommen ist, erscheint allerdings die Anordnung so, als ob die Spannung des Drahtes gerade dem Drucke des Hebels entgegenwirken sollte; doch liegt hier offenbar ein Versehen vor.) Der Draht ist in den Stromkreis des Kohärers eingeschaltet; gleichzeitig mit dem letzteren wird also auch der Draht von einem Strome durchflossen, der ihn, wie jeden anderen Leiter, erwärmen mufs. Infolge der Verlängerung, welche er hierdurch erfährt, soll sich nach den Erfindern der Druck zwischen den Kugeln so weit vermindern, dafs der Kontakt unterbrochen und der Widerstand von neuem hergestellt wird. Es ist jedoch sehr fraglich, ob das angegebene Resultat auf solche Weise wirklich erzielt wird. Die Ausdehnung durch die Wärme ist so gering, dafs der Draht, wenn dieselbe einen genügenden Betrag erreichen soll, eine sehr beträchtliche Länge besitzen mufs; selbst ein sehr dünner Draht von solcher Länge kann aber durch die schwachen Ströme, welchen der Kohärer den Durchgang gestattet, nicht merklich erwärmt werden; mit der Länge des Drahtes mufs sich überdies auch die unregel-

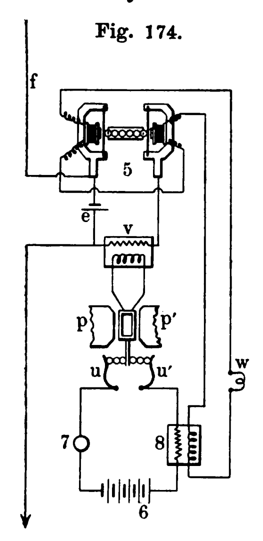
Fig. 173.



mäfsige Abkühlung desselben durch die umgebende Luft immer störender bemerkbar machen.

Um auch dann noch kräftige Wirkungen zu erhalten, wenn die Intensität der ankommenden Wellen zur unmittelbaren Hervorbringung deutlicher Signale nicht hinreicht, haben die Erfinder endlich die in Fig. 174 dargestellte Anordnung ersonnen, welche sich als eine Kombination der in Fig. 170 und 172 abgebildeten Apparate präsentiert. Die Wellen gelangen durch Vermittelung der Antenne *f* zum Kohärer *s*; die veränderlichen Ströme, welche dadurch in dem Stromkreis der Batterie *e* entstehen, in welchen der Kohärer eingeschaltet ist, werden benutzt, um in einem Transformator *v* Ströme zu induzieren, die ihrerseits den Rahmen des Relais *pp'* in Drehung versetzen und infolgedessen im Widerstand eines zweiten Kohärers *uu'* stärkere Veränderungen hervorrufen. Entsprechende Veränderungen erfährt natürlich auch die Stärke des Stromes, der diesen zweiten Kohärer durchfliefst; dieser Strom wirkt nicht allein durch Induktion auf den Empfangsapparat *w*, sondern hat gleichzeitig auch die Aufgabe, die durch die Wellen geweckte Leitfähigkeit des ersten Kohärers wieder zu zerstören. Um die kritische Spannung dieses letzteren möglichst herabzusetzen, können dessen Kugeln aus Kohle anstatt aus Metall bestehen.

Fig. 174.

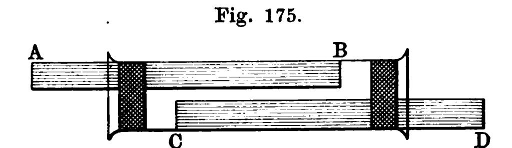


Dafs die geschilderte Anordnung auf Wellen von sehr geringer Intensität zu reagieren vermag, ist kaum zweifelhaft, aber das gleiche Resultat hätte sich wahrscheinlich auch auf einfachere Weise erzielen lassen. Man könnte z. B. den beweglichen Rahmen des Relais *pp'*, anstatt seine Bewegungen auf einen zweiten Kohärer einwirken zu lassen, ganz einfach zur Schliefsung des Stromkreises einer stärkeren Batterie verwenden. Für weitaus die meisten Fälle dürfte überdies die Empfindlichkeit der in Fig. 170 und 172 abgebildeten Apparate vollkommen genügen. Der von den Erfindern hauptsächlich verfolgte Zweck einer Synchronisierung der Sende- und Empfangsapparate dürfte wohl mit keiner der geschilderten Anordnungen zu erreichen sein; dagegen

macht die Empfindlichkeit der Apparate und die geringe Trägheit ihrer beweglichen Teile sie besonders geeignet zur Registrierung rasch aufeinanderfolgender Signale.

Sämtliche Apparate, denen wir in diesem Paragraphen begegneten, sind dazu bestimmt, den Widerstand des Kohärers, nachdem derselbe durch die elektrischen Wellen dauernd erniedrigt worden, wieder auf seinen Anfangswert zu bringen und den Kohärer für eine neue Einwirkung der Wellen vorzubereiten. Wie wir in Kapitel 3 des zweiten Teiles erfahren haben, gibt es aber auch Radiokonduktoren, die einer derartigen Vorrichtung nicht bedürfen, da die Verminderung ihres Widerstandes durch die elektrischen Wellen nur so lange andauert wie die Einwirkung dieser letzteren und nach dem Aufhören derselben alsbald von selbst wieder verschwindet, um dem normalen Zustand Platz zu machen. Wie vorteilhaft diese spontane Rückkehr zum Anfangswiderstand, die sich hauptsächlich bei den von Tommasina und Ferrié studierten Kohlekohärern vorfindet, für die Praxis der drahtlosen Telegraphie sein könnte, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden; der Hammer und alle die mehr oder minder komplizierten Vorrichtungen, die man an seine Stelle zu setzen versucht hat, würden dadurch vollkommen überflüssig. Von dieser Erwägung ausgehend, hat Tommasina dem Kohlekohärer eine für die praktische Verwendung geeignete Form zu geben versucht. Als Kohlepulver diente ihm das in den Schweizer Mikrophonen gebräuchliche. In eine 2,5 mm dicke Ebonitplatte wurde ein Loch von 2 mm Durch-

Fig. 175.



messer gebohrt und zwischen zwei Glimmerscheiben mit dem Kohlepulver ausgefüllt; zwei in dasselbe ragende Neusilberdrähte dienten als Elektroden. Die Empfindlichkeit dieses Radiokonduktors steht nach Tommasina nicht hinter derjenigen der gewöhnlichen Feilichtkohärer zurück; die Leitfähigkeit, welche derselbe unter der Einwirkung der Wellen annimmt, verschwindet mit dem Erlöschen der Wellen alsbald von selbst.

Metallspäne bieten im allgemeinen diese Erscheinung nicht dar. Dennoch ist es Popoff[25]) gelungen, auch einen metallischen Kohärer herzustellen, dessen Leitfähigkeit von selbst wieder erlischt.

Als Elektroden dienen zwei Platinbleche, die, wie Fig. 175 (a. v. S.) zeigt, in geringer Entfernung voneinander in einer Glasröhre angebracht sind; diese wird mit Kohle- oder auch mit einem Metallpulver gefüllt. Das beste Material gewinnt man durch Zerstofsen von gehärteten Stahlkugeln. Die Teilchen, die man auf diese Weise erhält, sind an den Seiten, die die Kugelfläche bildeten, mit einer dünnen Oxydschicht bedeckt, während die übrigen Flächen und namentlich die scharfen Kanten frei von Oxyd sind; nach Popoff sind diese Teilchen sehr empfindlich und verhalten sich, besonders wenn durch isolierende Scheidewände in der Röhre für eine gleichmäfsige Verteilung des Materials gesorgt ist, vollkommen regelmäfsig.

Abgesehen von der bereits erwähnten Vereinfachung bieten die Kohärer mit spontaner Herstellung des Widerstandes auch den Vorteil, dafs man als Empfangsapparat ein unmittelbar in den Stromkreis des Kohärers eingeschaltetes Telephon benutzen kann. Ducretet und Popoff sowie Blondel haben mit derartigen Anordnungen Versuche angestellt, die bis auf 50 km Entfernung eine gute Übertragung ergeben haben sollen. Auf die Dauer scheint indessen diese Art von Kohärern doch nicht mit der genügenden Sicherheit zu funktionieren; eine weitere Verbreitung haben dieselben nicht gefunden.

Wie neuerdings bekannt geworden ist[26]), haben in der italienischen Marine Versuche mit verschiedenen Formen eines Kohärers stattgefunden, der ebenfalls die Eigenschaft besitzt, nach dem Aufhören der Einwirkung der elektrischen Wellen spontan zu seinem Anfangswiderstand zurückzukehren. Die Erfindung desselben wurde einem Semaphoristen Castelli zugeschrieben, wird aber von dem Leutnant Solari als sein geistiges Eigentum reklamiert. In der von dem ersteren hergestellten Form hat dieser Kohärer zwei Kohleelektroden, zwischen denen sich in einem Glasrohr, durch kleine Zwischenräume von denselben getrennt, ein kurzer Eisenzylinder befindet. In jedem der Zwischenräume liegt ein Quecksilbertropfen, der den Querschnitt des Rohres nur teilweise ausfüllt. Soll der Apparat gut funktionieren, so darf die elektromotorische Kraft des galvanischen Elementes, in dessen Stromkreis derselbe eingeschlossen ist, nicht weniger als 1 und nicht mehr als 1,5 Volt betragen; das Quecksilber mufs frei von Verunreinigungen und das Innere des Glasrohres mufs vollkommen trocken sein. Ferner soll der Durchmesser des Quecksilbertropfens zu demjenigen des

Rohres in einem bestimmten Verhältnis stehen. Für ein Rohr von 3 mm lichter Weite eignen sich am besten Tropfen von 1,5 bis 3 mm Durchmesser; kleinere Tropfen geben keine genügende Empfindlichkeit, bei zu grofsen Tropfen stellt sich der Widerstand nach dem Erlöschen der elektrischen Wellen nicht mit der erforderlichen Schärfe wieder her.

Eine einfachere Form desselben Kohärers besteht aus einem einzigen Quecksilbertropfen zwischen zwei Eisenelektroden; der Solarische Kohärer hat einen Quecksilbertropfen zwischen einer Elektrode aus Kohle und einer aus Eisen und erscheint somit gewissermafsen als die Hälfte der zuerst beschriebenen Form.

Auch Marconi[27]) hat mit einem Quecksilberkohärer, der ihm von Solari als „Kohärer der italienischen Marine“ zur Verfügung gestellt worden war, Versuche vorgenommen. Seinen Erfahrungen zufolge funktioniert derselbe indessen nicht mit der Zuverlässigkeit, die für einen regelmäfsigen Verkehr notwendig ist. So geschah es mitunter, wenn intensive Wellen oder atmosphärische Störungen auf den Apparat eingewirkt hatten, dafs der hohe Widerstand nicht von selbst wiederkehrte; in anderen Fällen versagte die Tätigkeit des Apparats vollständig. Für die abgestimmte Telegraphie, von der in einem späteren Kapitel die Rede sein wird, eignet sich nach Marconi der Quecksilberkohärer überhaupt nicht, weil sein Widerstand auch in dem nicht durch elektrische Wellen beeinflufsten Zustande stets verhältnismäfsig niedrig ist. Wie es scheint, ist derselbe auch in der italienischen Marine nicht zu regelmäfsiger Verwendung gelangt; sein Nutzen offenbart sich hauptsächlich bei Versuchen von vorübergehender Art, die nicht so sehr die genaue Übertragung jedes Zeichens bezwecken, als vielmehr die Möglichkeit einer Verbindung unter bestimmten Verhältnissen im allgemeinen feststellen sollen.

Zu erwähnen bleibt noch, dafs auch die Antikohärer, das heifst die Radiokonduktoren, deren Widerstand durch die Einwirkung elektrischer Wellen eine Steigerung erfährt, eine beschränkte Anwendung gefunden haben. Ein derartiger Apparat, die Schäfersche Platte, die mit der auf S. 215 beschriebenen Vorrichtung von Neugschwender grofse Ähnlichkeit besitzt, soll in der österreichisch-ungarischen Marine probeweise eingeführt worden sein. Genaueres hierüber ist jedoch nicht bekannt geworden.

Auf einer ganz anderen Grundlage, nämlich auf der Beeinflussung der magnetischen Eigenschaften des Eisens durch

die elektrischen Wellen, beruht ein vor kurzem von Marconi[27]) erfundener Wellenindikator. Ein ähnlicher Vorgang ist schon früher einmal zum Nachweis der elektrischen Wellen benutzt worden; in § 33 lernten wir einen Wellenindikator von Rutherford kennen, der die Entmagnetisierung einer Stahlnadel durch elektrische Wellen zu Hilfe nimmt. Für die Praxis kann indessen dieser Apparat, auch abgesehen von seiner geringen Empfindlichkeit, schon deshalb nicht in Betracht kommen, weil die Stahlnadel nach jedem Versuche einer neuen Magnetisierung bedarf. Im Gegensatz hierzu fufst der Marconische Indikator auf einer Erscheinung von vorübergehendem Charakter, die das Auftreten der elektrischen Wellen begleitet und mit dem Erlöschen derselben alsbald ihr Ende erreicht.

Die Konstruktion des Apparats ist überaus einfach. Auf einen Kern von dünnen Eisen- oder Stahldrähten sind übereinander zwei Spulen von dünnem isolierten Kupferdraht aufgewickelt. Das eine Ende der inneren Spule führt zur Erde, das andere zur Antenne oder zu einer der Wickelungen des Transformators, der, wie wir später erfahren werden, zwischen die Antenne und die übrigen Teile des Empfängers eingeschaltet werden kann; die äufsere Spule, die eine gröfsere Drahtlänge umfafst, ist mit einem Telephon oder einem ähnlichen Empfangsapparate verbunden. Vor einem Ende des Eisenkerns befindet sich ein permanenter Hufeisenmagnet, der durch ein Uhrwerk beständig in nicht zu rascher Drehung erhalten wird; seine Pole nähern sich abwechselnd dem Eisenkern, dessen Magnetismus dadurch in regelmäfsigen Intervallen umgekehrt oder wenigstens verstärkt und geschwächt wird. Wenn nun elektrische Wellen die Antenne treffen und von hier aus auf die mit ihr verbundene Drahtspule übergehen, so erleidet die Magnetisierung des Eisenkerns rapide Änderungen, und diese müssen in der benachbarten Spule induzierte Ströme wachrufen, die sich in dem an die Spule angeschlossenen Telephon durch einen entsprechenden Ton kundgeben. Dieser tritt aber nur so lange auf, als die Rotation des Magneten anhält; wird der Magnet entfernt oder auch nur seine Bewegung unterbrochen, so fehlt jeder Ton, auch wenn die Wellen aus unmittelbarer Nähe des Apparats stammen. Nach Marconi ist sogar während der Rotation des Magneten ein Wechsel in der Tonstärke bemerkbar; dieselbe steigt, solange die Pole des Magneten sich dem Eisenkern nähern, und sinkt, während sie sich von demselben entfernen.

Gute Resultate erhielt Marconi ferner, indem er, anstatt einen Magneten in Drehung zu versetzen, vermittelst eines Uhrwerks ein endloses Seil oder Bündel von Eisendrähten beständig durch die beiden Spulen und zwischen den einander zugekehrten gleichnamigen Polen zweier Stahlmagnete hindurchführte. Mit dieser Anordnung wurden zwischen St. Catherines Point auf der Insel Wight und North Haven, Poole, sowie zwischen Poldhu in Cornwall und Poole in Dorset erfolgreiche Versuche angestellt; die Entfernung zwischen den ersteren Stationen beträgt ungefähr 50, diejenige zwischen den letzteren etwa 240 km, von denen ein Drittel auf dem Lande liegt. Endlich könnten Signale auch hervorgebracht werden, indem man den wechselnden Magnetismus des Eisenkerns direkt auf die Membran eines Telephons anstatt auf eine mit diesem verbundene Induktionsspule einwirken liefse.

Die Wirkung der geschilderten Apparate beruht nach Marconi auf den folgenden Erscheinungen. Ist eine Eisenmasse einer magnetischen Kraft ausgesetzt und erfährt die letztere irgend eine Veränderung, so tritt auch in dem magnetischen Zustande des Eisens eine entsprechende Änderung ein, aber diese kommt nicht sofort, sondern erst nach einem gewissen kurzen Zeitabschnitt zu stande. Zyklische Variationen der magnetisierenden Kraft äufsern ihren Einflufs auf den induzierten Magnetismus infolge der sogenannten magnetischen Hysteresis stets mit einer gewissen Verzögerung. Die Erscheinungen der Hysteresis werden aber, wie Gerosa, Finzi und andere Forscher gezeigt haben, durch Wechselströme von hoher Frequenz oder durch elektrische Wellen bedeutend herabgesetzt; eine Eisenmasse vermag den Schwankungen einer auf sie einwirkenden magnetischen Kraft rascher zu folgen, wenn sie gleichzeitig unter dem Einflusse elektrischer Wellen oder Wechselströme steht. Vermutlich hat diese Erscheinung ihre Ursache darin, dafs die Moleküle des Eisens durch die elektrischen Wellen vorübergehend aus einem Zwangszustande, in dem sie sich gewöhnlich befinden, befreit und auf solche Weise befähigt werden, einer magnetischen Kraft leichter zu gehorchen. Wird also der Marconische Apparat in irgend einem Augenblick von elektrischen Wellen getroffen, so kommt die Veränderung in dem Magnetismus des Eisenkerns, die durch die augenblickliche Bewegung des Magneten veranlafst ist und unter anderen Umständen erst nach einer gewissen Zeit eintreten würde, sofort zu stande. Jede Wellenemission seitens der Sendestation hat demnach eine unver-

mittelte Änderung in dem Magnetismus des Empfangsapparats zur Folge und erzeugt in der Spule, welche den Eisenkern des letzteren umgibt, einen induzierten Strom. Und da dieser Vorgang sich mit der Frequenz des Unterbrechers der Sendestation wiederholt, solange der Telegraphentaster auf der letzteren niedergedrückt bleibt, so mufs das Telephon der Empfangsstation während dieser ganzen Zeit einen Ton von entsprechender Höhe von sich geben.

Nach Marconis Angabe ist der neue Indikator empfindlicher und zugleich zuverlässiger als der Kohärer; die sorgfältige Einstellung, wie sie dieser letztere verlangt, ist bei dem neuen Apparat überflüssig. Sein Leitungswiderstand ist unveränderlich und wesentlich niedriger als derjenige des Kohärers; für die abgestimmte Telegraphie, von der in einem späteren Abschnitt die Rede sein wird, ist ersteres ein nicht zu unterschätzender Vorteil. Laute Signale, wie sie die mit dem Kohärer verbundene elektrische Klingel gibt, lassen sich allerdings mit dem neuen Indikator nicht unmittelbar erhalten; es ist deshalb zweckmäfsig, aufser dem letzteren auch einen Kohärer mit Klingel in die Apparate der Empfangsstation einzuschalten. Ferner bietet das Telephon, welches gegenwärtig mit dem neuen Indikator als Empfangsapparat benutzt wird, zwar in manchen Fällen Vorteile, anderseits aber hat es den Nachteil, dafs die ankommenden Signale kein dauerndes Zeichen hinterlassen und auch nicht in sehr rascher Folge aufgenommen werden können. Bis jetzt gestattet der neue Indikator eine Übertragungsgeschwindigkeit von etwa 30 Worten in der Minute; Marconi hofft indessen, es werde ihm gelingen, anstatt des Telephons einen Schreibapparat durch den neuen Indikator zu betätigen und damit auch die Schnelligkeit der Zeichenfolge wesentlich zu erhöhen.

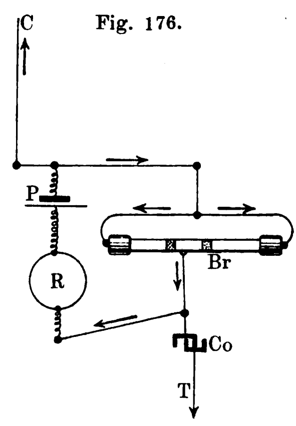
54. Die Apparate der Empfangsstation.

Die wesentlichen Organe einer Empfangsstation sind, wie an anderer Stelle bereits erwähnt worden, im allgemeinen folgendermafsen angeordnet. Von den Enden des Kohärers gehen zwei Drähte aus: einer derselben steht durch den Telegraphentaster des Sendeapparats mit der Antenne in Verbindung; diese Verbindung wird unterbrochen, wenn die Station, anstatt Telegramme zu empfangen, als Senderin fungiert; der andere Draht führt zur Erde. Gleichzeitig bildet der Kohärer einen Teil eines Stromkreises, in welchen aufser einem galvanischen Element oder einer Batterie

auch ein Telegraphenrelais eingeschaltet ist; zieht dieses seinen Anker an, so tritt der Schreibapparat in Tätigkeit.

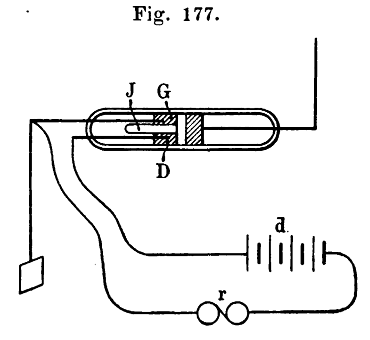
Diese Verbindungen gestalten sich natürlich etwas anders, wenn der Kohärer mehr als zwei Elektroden besitzt. So hat Ducretet[28]) einen Kohärer mit drei Elektroden konstruiert; wie aus Fig. 176 ersichtlich, sind die beiden äufseren Elektroden untereinander und mit dem einen Pol der Batterie verbunden, von der mittleren Elektrode führt ein Draht zum anderen Pol. Im Grunde ist also diese Anordnung nichts anderes als eine Parallelschaltung zweier Kohärer.

Fig. 176.



Einen Kohärer mit drei Elektroden schlägt auch Berner[29]) vor. Mit dem Ducretetschen Apparat hat jedoch dieser Kohärer kaum etwas gemein; wie der gewöhnliche Kohärer, so besitzt auch derjenige von Berner nur eine Schicht von Feilspänen zwischen zwei Elektroden; die eine von diesen ist, wie Fig. 177 zeigt, durch eine isolierende Platte J in zwei Hälften getrennt, die nur durch das Feilicht hindurch miteinander in Verbindung treten können. Von diesen beiden Hälften gehen die Drähte aus, die zu dem Relais und seiner Batterie führen; aufserdem ist eine der beiden Hälften mit der Erde verbunden, während von der gegenüberstehenden ganzen Elektrode ein Draht zur Antenne führt. Der Stromkreis des Relais schliefst sich ganz auf die gewohnte Weise, sobald das Feilicht durch die von der Antenne aufgefangenen Wellen leitend geworden ist; die besondere, von dem Erfinder gewählte Anordnung hat nur den Zweck, zu verhindern, dafs die Wellen, welche von der Antenne durch den Kohärer hindurch zur Erde gelangen sollen, statt dessen, ohne das Feilicht irgendwie zu beeinflussen, ihren Weg durch den Stromkreis des Relais nehmen, der bei der gewöhnlichen Anordnung eine Parallelschaltung zum Kohärer bildet.

Fig. 177.

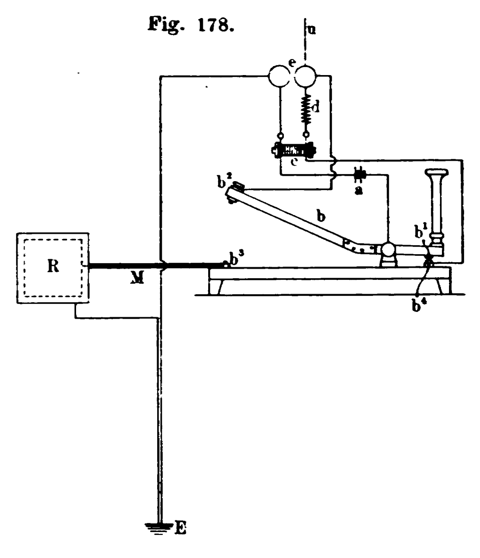


Die Verbindung mit der Erde ist bei den Anordnungen, die wir bisher kennen gelernt haben, für den Empfangsapparat nicht minder wichtig wie für den Sender. Eine mangelhafte Erdverbindung läfst sich anscheinend in beiden Fällen nur durch eine gröfsere Länge der Antenne ausgleichen. Da nun eine gut leitende Erdverbindung zu Lande schwieriger herzustellen ist als auf dem Wasser, so will man hierin sogar eine der Ursachen für die gröfsere Tragweite der drahtlosen Telegraphie auf dem Wasser oder die Notwendigkeit höherer Antennen zum Telegraphieren über gleiche Landstrecken erblicken. Nach Guarini dagegen ist die Erdverbindung nur für den Sender von Vorteil, weil sie hier das Potential der mit dem Luftdraht verbundenen Kugel des Erregers steigert und am Ende jenes Drahtes ein Maximum der Intensität der elektrischen Schwingung erzeugt; beim Empfänger dagegen hält Guarini die Erdverbindung für nachteilig, weil gerade in dem isolierten Kohärer ein Maximum der Schwingung entstehen müsse, während die Erde die Rolle einer grofsen Kapazität spiele und das Maximum an der gewünschten Stelle nicht zu stande kommen lasse.

Mit Bezug auf die Antenne des Empfängers wären genau die gleichen Regeln aufzustellen, die bezüglich der Antenne des Sendeapparats gegeben wurden; eine Wiederholung erscheint um so überflüssiger, als ja jede Station mit den Apparaten für die Absendung und den Empfang von Telegrammen ausgerüstet sein mufs und die gleiche Antenne für beide Zwecke dient. Bei den ersten Installationen der „Wireless Telegraph and Signal Company“ war das untere Ende der Antenne beständig mit dem Empfangsapparat verbunden; sollten Depeschen abgesandt werden, so wurde der betreffende Draht mit der Hand von dem Empfänger gelöst und an den Sender gelegt. Da dieses Verfahren ziemlich unbequem und bei atmosphärischen Störungen auch keineswegs ungefährlich war, so wurde später eine Einrichtung getroffen, die wir bereits kurz erwähnt haben und von der wir nunmehr in Fig. 178 eine schematische Darstellung geben[30]). Die Antenne u steht gleichzeitig mit einer der Kugeln des Erregers und mit dem Ende b^2 eines der Arme des Telegraphentasters in beständiger Verbindung; dieser Arm ist länger als bei den sonst in der Telegraphie gebräuchlichen Apparaten und das Ende ist von den übrigen Teilen isoliert. In der Ruhestellung liegt dieses Ende b^2 auf dem Kontakt b^3, von welchem ein mit einer metallenen Röhre M umgebener Draht zu

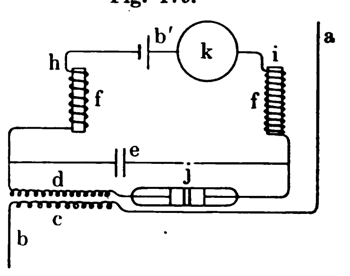
dem Kohärer führt, der in den Kasten *R* eingeschlossen ist. Drückt man den Taster nieder, um den Induktionsapparat in Tätigkeit zu setzen und die Aussendung von Wellen zu veranlassen, so wird die Verbindung mit dem Kohärer aufgehoben und dieser ist gegen die Einwirkung der an seiner eigenen Station erzeugten Wellen geschützt.

Fig. 178.



Die permanente Verbindung der Antenne mit einer der Kugeln des Erregers wurde mit der Zeit auf allen Stationen der „Wireless Telegraph and Signal Company“ eingeführt und scheint erst in der letzten Zeit zu Gunsten einer anderen Einrichtung, von der später die Rede sein wird, wieder verlassen worden zu sein; für den Empfänger dagegen hatte die genannte Gesellschaft bereits vor der soeben beschriebenen Anordnung ein Patent[31]) auf eine andere Schaltung genommen, die jede direkte Verbindung zwischen dem Kohärer und der Antenne ausschliefst. Fig. 179 zeigt diese Schaltung, die inzwischen auf den Stationen der Gesellschaft allgemein eingeführt worden sein dürfte. Die Antenne *a* steht mit der Erde *b* durch den Primärkreis *c* eines kleinen Induktionsapparats oder Transformators in Verbindung; die Wellen, die von der Antenne aufgefangen werden und durch *c* hindurchgehen, erzeugen in dem Sekundärkreis *d* des Transformators induzierte Wellen oder Ströme, die in dem Kohärer *j* die bekannte Wirkung hervorbringen. Die alternierenden Potentialdifferenzen, welche diese Wellen begleiten, gleichen sich in dem Kondensator *e* aus; die Drosselspulen *h* und *i* verhindern den Eintritt der Wellen in die Windungen des Telegraphenrelais *k*, während sie dem Strom der Batterie b_1, der zu

Fig. 179.



stande kommt, wenn der Kohärer j durch die Wellen leitend geworden ist, kein wesentliches Hindernis entgegensetzen. Die sonstigen Teile des Apparats stimmen mit den früheren vollständig überein. Eine etwas abweichende Anordnung, die den gleichen Zweck verfolgt, aber minder gut funktioniert wie die eben beschriebene, ist in Fig. 180 abgebildet.

Die Trennung der Antenne von dem Kohärer ist nach Marconi in zweifacher Hinsicht von Vorteil. Zunächst werden die Gefahren, welche von atmosphärischen Störungen ausgehen können, beseitigt, weil die Antenne vermöge ihrer permanenten Verbindung mit der Erde die vorbeugende Wirkung eines Blitzableiters ausübt. Ferner wird eine gröfsere Empfindlichkeit erzielt. Die Wirkung auf den Kohärer hängt nämlich weniger von der Intensität der Wellenströme, welche denselben treffen, als von dem Potential derselben ab, und sie läfst sich demnach steigern, wenn man mit Hilfe eines geeigneten Transformators das Potential auf Kosten der Stromintensität erhöht. Offenbar kann man auf diese Weise einen bestimmten Effekt im Kohärer schon mit Wellen von geringerer Intensität erreichen, als dies ohne den Transformator der Fall sein würde. Nicht jeder Transformator freilich ist für den beabsichtigten Zweck geeignet; es bedarf dazu einer ganz besonderen Konstruktion. Die gewöhnlichen Induktionsapparate mit einem dicken Primärdraht von wenigen Windungen und einem langen und sehr dünnen Sekundärdraht würden nach Marconi sogar eher schaden als nützen. Die von Marconi eigens konstruierten Transformatoren, die er mit dem Namen „jigger“ bezeichnet, sind von sehr kleinen Dimensionen; beide Windungen bestehen aus Draht von derselben Dicke. Die verschiedenen Typen des „jigger“, welche gute Resultate ergeben haben, sind in Fig. 181 bis 188 schematisch in halbem Durchschnitt dargestellt;

Fig. 180.

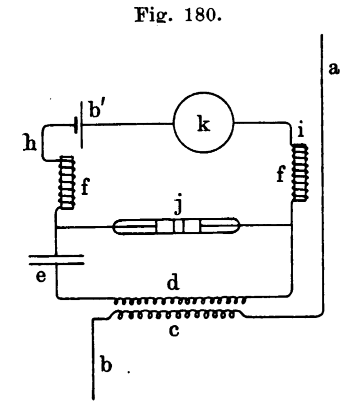
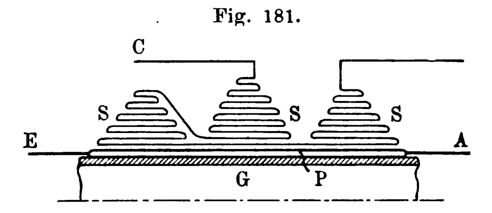
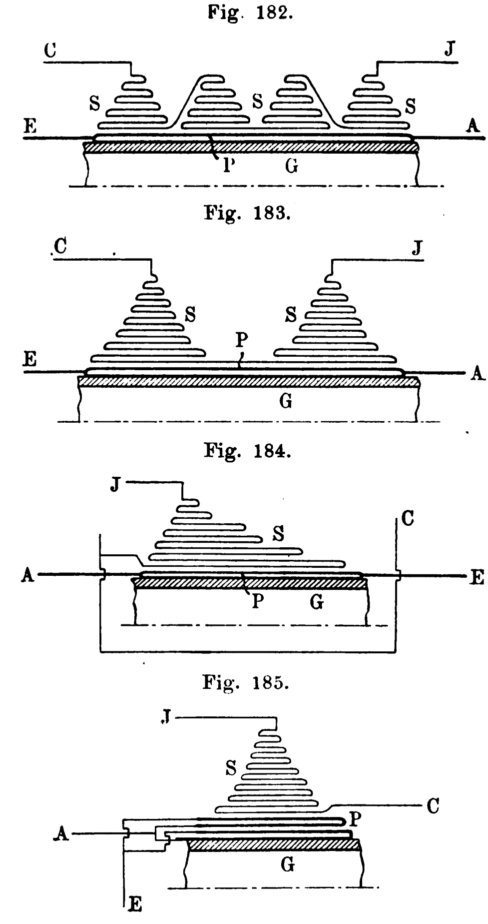


Fig. 181.



die Schnitte durch die Drahtwindungen sind aber nicht, wie dies der Wirklichkeit entsprechen würde, durch kleine Kreisflächen oder Punkte wiedergegeben, sondern jede Lage von Windungen ist durch eine zur Achse des Transformators parallele Linie bezeichnet, deren Länge die Breite der betreffenden Lage andeutet; die Art, wie die verschiedenen Lagen von Windungen aufeinander folgen und miteinander verbunden sind, sowie ihre Zahl und Ausdehnung ist aus den Zickzacklinien ohne weiteres zu ersehen. Der Klarheit halber sind die Primärwindungen, obschon sie aus demselben Draht bestehen wie die Sekundärwindungen, durch dickere Linien unterschieden. Die Buchstaben haben bei allen Figuren die gleiche Bedeutung; *P* ist die Primärwindung, *S* die Sekundärwindung, *G* der Schnitt durch die Wand des Glasrohres, auf welches der Transformator aufgewickelt ist; *A* ist das mit der Antenne verbundene, *E* das zur Erde abgeleitete Ende des Primärkreises; das eine Ende *J* des Sekundärkreises führt zum Kohärer, das andere *C* zum Kondensator. Bei fast sämtlichen Typen nimmt die Zahl der Windungen in den einzelnen Lagen der Sekundärspule mit wachsender Entfernung von der Primärspule ab; diese letztere besteht in der Regel nur aus einer oder ganz wenigen Lagen. Bei einigen Transformatoren hat die Sekundärspule mehrere Abteilungen, die auf die in den Abbildungen angedeutete Weise in

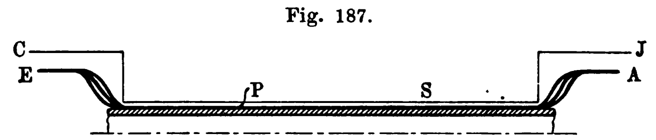


Serie geschaltet sind. Sämtliche Transformatoren sind, wie bereits gesagt, von überaus kleinen Dimensionen; ihre Länge beträgt 2 bis höchstens 6 cm, der Durchmesser des Rohres, auf welches der Draht aufgewickelt ist, beträgt etwas weniger als 1 cm und der mit Seide isolierte Draht sowohl des Primärkreises wie des Sekundärkreises ist 1 oder 1,2 mm dick. Der Primärkreis hat bis 4, die einzelnen Abteilungen des Sekundärkreises haben bis 16 Lagen von Windungen; die Zahl der Windungen in den einzelnen Lagen des letzteren kann von 150 bis auf 2 abnehmen. Wie es scheint, legt Marconi diesen Einzelheiten der Konstruktion eine grofse Bedeutung bei; nach seiner Ansicht sollen dieselben verhindern, dafs die

Fig. 186.

elektromagnetische Induktion der elektrostatischen an den Enden der Spule entgegenwirkt. Als Beleg für den praktischen Wert seiner Transformatoren erwähnt Marconi die folgende Tatsache. Während der Seemanöver des Jahres 1899 konnten die beiden englischen Kreuzer Juno und Europa, als ihre Empfangsapparate

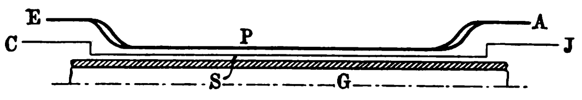
Fig. 187.



mit Transformatoren von dem in Fig. 182 dargestellten Typus ausgerüstet waren, bis auf mehr als 60 Meilen (beinahe 100 km) Entfernung Telegramme miteinander austauschen; ohne die Transformatoren war schon bei einer Entfernung von wenig mehr als 7 Meilen (etwa 11 km) kein Zeichen mehr zu erhalten.

Trotzdem hat die „Wireless Telegraph and Signal Company" in einem neueren Patente [32]) die beschriebenen Einrichtungen

Fig. 188.



wiederum abgeändert. Die Wirkung auf den Kohärer erfolgt auch jetzt noch durch Induktion, und der diesem Zweck dienende Transformator hat im Primärkreise die frühere Gestalt beibehalten; der

Sekundärkreis dagegen ist, wie Fig. 189 zeigt, in zwei Hälften geteilt. Die äufseren Enden der beiden Hälften führen zu den Elektroden des Kohärers; an die inneren Enden sind die beiden Platten eines Kondensators j^3 angeschlossen, von welchen dann zwei Drähte auf die gewöhnliche Weise durch die Selbstinduktionsspulen $c_1 c_2$ hindurch zum Stromkreis der Batterie und des Relais führen. Die Fig. 190 und 191 stellen, ähnlich wie die früheren, die halben Durchschnitte durch die bei dieser Anordnung benutzten Transformatoren dar. Der Primärkreis des Transformators Fig. 190 umfafst 100 Windungen eines 0,37 mm dicken, mit Seide isolierten Kupferdrahtes, der auf ein Glasrohr von 6 mm Durchmesser ge-

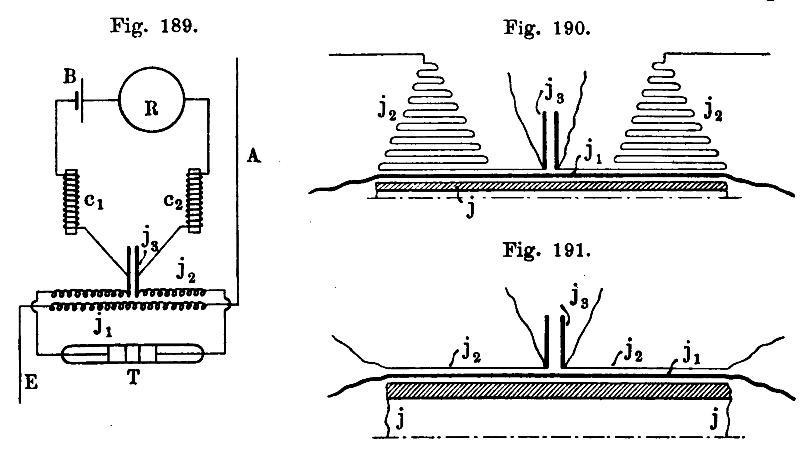


Fig. 189. Fig. 190. Fig. 191.

wickelt ist; zu dem Sekundärkreise ist ein 0,19 mm dicker Draht benutzt, seine Windungen beginnen in der Mitte und sind in derselben Richtung geführt wie diejenigen des Primärkreises; jede Hälfte umfafst 500 Windungen, die sich, in abnehmender Zahl von 77 bis 3 Windungen pro Lage, auf 17 Lagen verteilen. Der Transformator Fig. 191 ist auf eine Röhre von 25 mm Durchmesser gewunden. Sein Primärkreis besteht aus 50 Windungen eines 0,7 mm dicken Drahtes; der Sekundärkreis, zu dem ein 0,05 mm dicker Draht benutzt ist, umfafst in jeder Hälfte 160 Windungen, die nur eine Lage bilden. Über die besonderen Vorzüge, welche diese neue Anordnung bieten soll, wird nichts mitgeteilt; wir erfahren nur, dafs die besten Resultate erhalten wurden, wenn aufserdem die Antennen auf beiden Stationen 150 Fufs (etwa 46 m) hoch waren; allgemein soll es ferner am vorteilhaftesten sein, wenn der Sekundärdraht des Transformators, falls seine Windungen nur

eine Lage bilden, ungefähr die gleiche Länge hat wie die Antenne der Sendestation. Auch dieses Ergebnis ist, ebenso wie die konstruktiven Einzelheiten der Transformatoren, weniger aus theoretischen Erwägungen als aus den empirischen Erfahrungen zahlreicher Versuche hervorgegangen.

Die Sicherheit, wenn auch nicht gerade die Tragweite der Verbindung, hängt nicht allein von den Eigenschaften des Radiokonduktors, sondern in wesentlichem Maſse auch von denjenigen des Relais ab, welches die Aufgabe hat, den Stromkreis des Schreibapparates zu schlieſsen. Während dieser letztere den Gebrauch ziemlich starker Ströme gestattet, darf der Kohärer, wenn er keinen Schaden leiden soll, nur von auſserordentlich schwachen Strömen durchflossen werden; dementsprechend darf die Batterie oder das galvanische Element im Stromkreise des Kohärers nur eine niedrige elektromotorische Kraft besitzen und das Relais muſs ungemein empfindlich sein. In § 53, wo von den verschiedenen Formen des Kohärers die Rede gewesen, wurden einige besondere Vorrichtungen beschrieben, deren Aufgabe es ist, den sogenannten Lokalstromkreis zu schlieſsen; die meisten Systeme jedoch geben den gewöhnlichen Telegraphenrelais, besonders den polarisierten Relais oder den Relais mit beweglichem Stromkreis, den Vorzug.

Das polarisierte Relais hat als beweglichen Teil die eiserne Ankerzunge eines Elektromagneten, deren Bewegung durch Kontaktschrauben begrenzt ist. Ein permanenter Magnet wirkt gleichzeitig auf den Kern des Elektromagneten und auf die Ankerzunge in der Weise ein, daſs die Pole des ersteren gleichnamige Polarität annehmen, während das zwischen denselben befindliche Ende der Zunge in entgegengesetztem Sinne magnetisiert wird. Dasselbe erfährt also von beiden Polen die gleiche Anziehung; eine schwache Feder sorgt aber dafür, daſs dasselbe an eine der Kontaktschrauben anliegt. Durchflieſst nun ein Strom die Spule des Elektromagneten, so wird der Magnetismus des einen Poles verstärkt, derjenige des anderen Poles wird geschwächt oder sein Vorzeichen wird umgekehrt. Die Verbindungen sind in der Weise getroffen, daſs dann die Ankerzunge gegen die andere Kontaktschraube gezogen wird und den Lokalstromkreis schlieſst.

Den charakteristischen Bestandteil der Relais mit beweglichem Stromkreis, z. B. desjenigen von Claude, bildet ein auf einen Rahmen gewickelter Leitungsdraht, der bei den gewöhnlichen Telegraphen mit der Linie, in unserem Falle dagegen mit dem

Kohärer und seinem galvanischen Elemente verbunden ist. Der Rahmen hängt zwischen den Polen eines permanenten Magneten; wird er von einem Strome durchflossen, so erleidet er infolge der Anziehung seitens des Magneten eine Drehung, welche benutzt wird, um einen Kontakt herzustellen, der den Lokalstromkreis schliefst. Tissot verwendete zu seinen Versuchen ein derartiges Relais, das durch einen Strom von 0,25 Milliampère in Tätigkeit gesetzt wurde; die elektromotorische Kraft des galvanischen Elementes im Stromkreise des Relais betrug weniger als 1,4 Volt; andere Experimentatoren fanden sogar ein Element von 0,3 Volt ausreichend.

Ein speziell für die Zwecke der drahtlosen Telegraphie bestimmtes Relais hat Kitsee[33]) konstruiert. Wie bei den anderen Apparaten dieses Typus werden die Eisenkerne eines Elektromagneten und die Ankerzunge desselben durch einen permanenten Magneten magnetisiert; der Anker wird infolgedessen beständig gegen einen der Pole des Elektromagneten gezogen. Abweichend von dem vorhin beschriebenen Apparat trägt jedoch der Elektromagnet zwei Paare von Spulen, auf die sich der Strom einer Batterie verteilt; er durchläuft dieselben in entgegengesetzter Richtung und erzeugt somit in dem Elektromagneten entgegengesetzte Wirkungen, die sich gegenseitig aufheben, wenn die Widerstände und mit ihnen die Stromstärken in den beiden Stromkreisen die gleichen sind. In den einen der beiden Stromkreise ist die wellenempfindliche Vorrichtung eingeschaltet; der andere enthält einen veränderlichen Widerstand, um etwaige Verschiedenheiten beider Stromkreise ausgleichen zu können. Solange der Ausgleich besteht, bleibt die Ankerzunge in ihrer Ruhelage. Sinkt jedoch, durch die Einwirkung von Wellen, die von der Antenne des Apparats aufgefangen werden, der Widerstand des Kohärers, so steigt in den mit demselben verbundenen Windungen des Elektromagneten die Stromstärke auf Kosten derjenigen in den anderen Windungen; die betreffende Magnetisierung erlangt das Übergewicht und die Ankerzunge wird von dem einen Pole losgelassen und bewegt sich gegen den anderen. Durch diese Bewegung wird der Stromkreis einer zweiten Batterie geschlossen, welche den Telegraphenempfänger in Tätigkeit setzt und zugleich den veränderlichen Widerstand aus seinem Stromkreise ausscheidet. Dadurch erlangt der Strom in diesem Kreise eine gröfsere Stärke, zumal gleichzeitig auch der Kohärer von selbst oder unter dem Einflufs

einer geeigneten Vorrichtung zu seinem hohen Widerstand zurückkehrt. Folglich wird die Magnetisierung des Elektromagneten umgekehrt; die Ankerzunge schnellt in ihre Ruhestellung zurück, der Strom der Lokalbatterie wird unterbrochen und damit wird die Ursache beseitigt, welche den Hilfswiderstand aus dem Stromkreis ausgeschieden hatte. Dieser Widerstand tritt infolgedessen von neuem in seinen Stromkreis ein, die ursprünglichen Bedingungen sind wieder hergestellt und der Apparat ist für eine abermalige Einwirkung von Wellen vorbereitet.

Die Empfangsapparate, welche in der drahtlosen Telegraphie Verwendung finden, unterscheiden sich zumeist nicht von den in der gewöhnlichen Telegraphie gebräuchlichen Empfängern. Vorherrschend ist das Morsesche Modell in der Form des Schreibapparats oder auch des Klopfers, welcher die Zeichen von längerer oder kürzerer Dauer, die ihm von der Sendestation zugehen, in Tonsignale anstatt in Striche und Punkte übersetzt. Der Effekt ist in diesem Falle ähnlich demjenigen, welchen man durch einen Kohärer mit selbsttätiger Rückerlangung des Widerstandes in Verbindung mit einem Telephon oder durch einen ähnlichen Apparat erhält. Der bereits erwähnte Kitsee[33]) dagegen will die verschiedenen Wellenimpulse ohne jede Hilfsvorrichtung, ohne Morseapparat und Relais, ja sogar ohne den Kohärer, unmittelbar aufzeichnen. Von der Antenne der Empfangsstation soll ein Draht zu einer metallenen Spitze führen, die einen Papierstreifen berührt, der unter ihr durch Vermittlung eines mit der Erde verbundenen Metallzylinders vorwärtsbewegt wird. Das Papier ist chemisch präpariert; die Wechselströme von verschiedener Dauer, welche in dem geschilderten Leitersystem durch die auf der Empfangsstation anlangenden Wellen induziert werden, sollen nach dem Erfinder an der Berührungsstelle zwischen der Spitze und dem Papier die in dem letzteren enthaltene chemische Substanz zersetzen und eine gefärbte Verbindung erzeugen, welche die verschiedenen Zeichen ganz wie bei dem Morseempfänger durch Striche und Punkte wiedergibt. Von dem bekannten elektrochemischen Telegraphen unterscheidet sich also der Kitseesche Apparat nur insofern, als sein Erfinder es für möglich hält, die chemischen Wirkungen, die bei jenem durch ziemlich starke Ströme hervorgebracht werden müssen, mit Hilfe überaus schwacher Wechselströme zu erzielen.

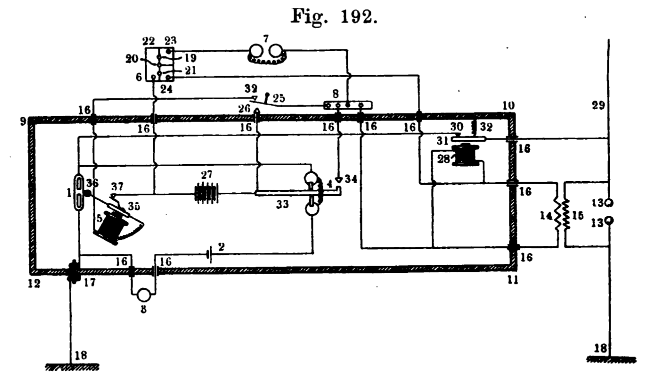
Wie wir gelegentlich der Beschreibung der von der „Wireless Telegraph and Signal Company“ angestellten Versuche gesehen

haben, und wie wir auch weiterhin noch erfahren werden, hat sich im Verlauf dieser Versuche die Grenze, bis zu welcher Signale übertragen werden können, immer mehr erweitert. Dieser Erfolg ist teils der gesteigerten Empfindlichkeit der Empfangsapparate, vor allem jedoch der Verwendung kräftigerer Wellenerzeuger zu verdanken; die Signalgebung auf weite Entfernungen ist nur möglich durch Verbrauch einer ungeheuren Energie, die zu den winzigen Energiemengen, die schliefslich auf den Empfänger einwirken, in gar keinem Verhältnis steht. Es war daher natürlich, dafs man nach anderen Mitteln suchte, um die Entfernung, bis zu welcher telegraphiert werden könnte, zu vergröfsern. Ein Weg hierzu bot sich anscheinend in der Verwendung automatischer Überträger, die nach Art der entsprechenden Apparate, welche in der Drahttelegraphie Verwendung finden, auf jedes von einer Sendestation ihnen zugehende Signal mit der Ausgabe eines gleichen Zeichens antworten, welches seinerseits einen anderen Apparat trifft, der zu weit von der ersten Station entfernt ist, um direkt von dieser beeinflufst werden zu können. Auf den ersten Blick erscheint die Aufgabe überaus einfach. Die Wellen, die von der Sendestation ausgegeben werden, treffen auf der Zwischenstation einen Kohärer, der unter ihrem Einflufs leitend wird und ein Relais in Tätigkeit setzt. Dieses wird benutzt, nicht um den Strom eines Telegraphenempfängers, sondern um den Primärkreis eines zweiten Induktionsapparats zu schliefsen, welcher dann Wellen erzeugt, die in ihrer Dauer und Aufeinanderfolge ganz mit den von der Sendestation ausgegebenen übereinstimmen und ihre Wirkung nunmehr auf die eigentliche Empfangsstation, oder, falls diese noch zu weit entfernt sein sollte, auf eine zweite Übertragungsstation geltend machen können. In der Praxis kann es jedoch nicht ausbleiben, dafs die von der Zwischenstation ausgegebenen Wellen nicht nur die Empfangsstation oder die nächste Zwischenstation, sondern ebenso auch die vorausgehende Station treffen und die Tätigkeit der Sendeapparate stören.

Zur Beseitigung dieses Übelstandes schlagen Cole und Cohen[34]) verschiedene Mittel vor. Der Relaisanker jeder Station soll z. B. eine Anordnung erhalten, durch die er in dem Augenblick, in welchem ihn die von der Zwischenstation ausgegebenen Wellen treffen, überhaupt verhindert wird, Wellen zu registrieren. Oder es sollen an sämtlichen Stationen durch Uhrwerke betriebene Stromunterbrecher von genau übereinstimmendem Gang aufgestellt

werden, die sofort nach der Ausgabe eines telegraphischen Zeichens den Stromkreis ihrer Station unterbrechen und ihn erst dann wieder für eine neue Zeichengebung schliefsen, wenn nicht allein die Wirkung auf der nächsten Station stattgefunden hat, sondern auch die dort erzeugte Welle bereits zur ersten Station zurückgekehrt ist. Endlich wollen Cole und Cohen die Zwischenstation mit zwei voneinander unabhängigen Antennen ausrüsten, von denen die eine mit dem Empfangsapparat, die andere mit demjenigen Apparat verbunden ist, welcher die eingetroffenen Wellen zur nächsten Station weitergibt. Jede der beiden Antennen soll oben mit einem Blech bedeckt und ihrer ganzen Länge nach von einer zylindrischen, zur Erde abgeleiteten Metallhülle eingeschlossen sein, die nur durch einen von oben bis

Fig. 192.



unten reichenden Spalt unterbrochen ist; der Spalt der einen Antenne soll gegen die Sendestation, derjenige der anderen gegen die nächste Empfangsstation gerichtet sein. Cole und Cohen halten dieses letztere Verfahren für das beste, weil dasselbe die Antenne gegen die Einwirkung von Wellen schütze, die nicht aus einer bestimmten Richtung herkommen; an anderer Stelle wurde jedoch bereits ausgeführt, dafs ein solcher Schutz höchst problematisch ist. Praktische Erfolge scheint der geschilderte Vorschlag in der Tat nicht gezeitigt zu haben.

Ein italienischer Erfinder, Guarini, hat den ersten der drei erwähnten Wege beschritten[35]). Fig. 192 zeigt die wichtigsten Organe einer Station, die nach Guarini sowohl gleichzeitig als Empfangs- und Übertragungsstation, wie auch für jeden dieser Zwecke allein zu dienen vermag. Man braucht nur dem Stöpsel des in der Abbildung mit 6 bezeichneten Kommutators eine ver-

schiedene Stellung zu geben, um den Apparat für die eine oder andere dieser Aufgaben vorzubereiten. Soll der Apparat lediglich als Empfänger dienen, so wird der Stöpsel in die mit 19 bezeichnete Öffnung des Kommutators gesteckt. Die Wellen, welche die Antenne 29 treffen, gelangen dann durch den Kontakt 31—32 zum Kohärer 1 und durch diesen hindurch vermittelst der Drähte 17—18 zur Erde. Der Widerstand des Kohärers nimmt in der bekannten Weise ab und die Batterie 2 gibt einen Strom, der aufser dem Relais 4 ein Galvanometer 3 durchfliefst. Dieses letztere läfst erkennen, ob der Apparat, auch wenn er lediglich als Übertrager funktioniert, seine Aufgabe richtig erfüllt; zu diesem Zweck ist das Galvanometer, damit man es beständig beobachten kann, aufserhalb des Metallgehäuses 9—10—11—12 angebracht, welches einen Teil der Organe der Station einschliefst. Das Relais 4 setzt, wenn es von dem Strom der Batterie 2 durchflossen wird, den Anker 33 in Bewegung und schliefst den Kontakt 34. Dann kann der Strom der Batterie 27 (wofern man dem Stöpsel des Kommutators 6, wie vorausgesetzt, die Stellung 19 gegeben hatte) die Spulen des Telegraphenempfängers 7 durchfliefsen, und falls der Hebel 25 sich in der Ruhestellung befindet, in welcher er gegen den Kontakt 32 drückt, wird auch der Hammer 5 durch den Strom der Batterie in Tätigkeit gesetzt.

Wird dagegen der Stöpsel des Kommutators 6 in die Öffnung 20 gesteckt, so erzeugen die von der Antenne aufgefangenen Wellen zwar immer noch dieselben Wirkungen wie vorher, gleichzeitig aber funktioniert unter ihrem Einflusse der Apparat als Übertrager, weil der Strom der Batterie 27 aufser den Windungen des Empfängers 7 und des Hammers 5 auch den Primärkreis 14 des Induktionsapparates 14—15 und die Spule 28 eines anderen Unterbrechers durchfliefst. Nach dem Erfinder soll der Elektromagnet dieses letzteren, indem er den Anker 31 anzieht und die Berührung desselben mit dem Kontaktstück 30 unterbricht, die von dem Erreger 13 und der Antenne 29 ausgegebenen Wellen, welche die Signale zur nächsten Station zu übertragen haben, von dem Kohärer 1 fernhalten.

Befindet sich endlich der Stöpsel des Kommutators in der Öffnung 21, so vermag der Strom der Batterie 27 die Spulen des Empfängers 7 nicht zu durchfliefsen; die ankommenden Wellen werden von dem Induktionsapparat verstärkt wiedergegeben, nicht aber aufgezeichnet und der Apparat funktioniert lediglich als

Übertrager. Bei der gleichen Stöpselstellung kann der Apparat ferner auch als Sender funktionieren; man braucht zu diesem Zwecke nur den Hebel 26, der in den Primärkreis des Induktionsapparates 14—15 eingeschaltet ist, nach Art eines Morsetasters zu handhaben. Der Unterbrecher 28 soll nach dem Erfinder die Einwirkung der Wellen auf den Kohärer verhindern.

An sämtlichen Stellen des Apparats, an welchen Stromunterbrechungen stattfinden, sind Parallelschaltungen in Gestalt von Widerständen angebracht, um der Wirkung der Extraströme vorzubeugen. In der Abbildung sind diese Vorrichtungen weggelassen.

Mit dem beschriebenen Apparat haben Guarini und Poncelet im März 1901 zwischen Brüssel, Mecheln und Antwerpen Versuche

Fig. 193.



Fig. 194.



vorgenommen. Als Träger der Antenne wurden in Brüssel die Colonne du Congrès (Fig. 193), in Antwerpen und Mecheln die Türme der Kathedralen (Fig. 194 und 195) benutzt. Die Signalgebung von Brüssel nach Mecheln und in entgegengesetzter Richtung, auf eine Entfernung von 21890 m, sowie von Antwerpen nach Mecheln und in entgegengesetzter Richtung auf 22350 m Entfernung, gelang vollkommen. Gleichzeitig wurde festgestellt, dafs,

von einigen Ausnahmefällen abgesehen, die Entfernung von 42 km zwischen Brüssel und Antwerpen mit den vorhandenen Apparaten nicht direkt überbrückt werden konnte. Darauf schritt man zu Versuchen, bei welchen das etwas seitlich von der geraden Verbindungslinie zwischen Brüssel und Antwerpen gelegene Mecheln mit dem geschilderten Übertrager als Zwischenstation diente. Nach Poncelets Auffassung waren diese Versuche von durchschlagendem Erfolg gekrönt; indessen begegnet diese Auffassung auf Grund des von Poncelet selbst erstatteten Berichtes manchen und keineswegs unbegründeten Zweifeln. Allerdings wurden die von der Brüsseler Station ausgesandten Signale, soweit sie von der Station Mecheln aufgenommen wurden, auch von dem Übertrager automatisch nach Antwerpen weitergegeben, wo der Empfänger dieselben registrierte; ein Teil der Signale jedoch blieb schon auf der Station Mecheln vollständig unbemerkt und konnte infolgedessen natürlich auch nicht nach Antwerpen gelangen. Die Apparate von Mecheln mufsten also mit irgend einem Mangel behaftet gewesen sein, und es ist auch nicht schwer, eine mögliche Ursache ausfindig zu machen. Dieselben mufsten nämlich bei diesen Versuchen, damit man die in Brüssel ankommenden mit den durch Mecheln hindurchgegangenen Telegrammen vergleichen konnte, sowohl als Übertrager wie als Empfänger fungieren. Aus der Betrachtung der Fig. 192 ergibt sich nun, dafs in diesem Falle vier Apparate, nämlich der Hammer 5, der Empfänger 7, der Unterbrecher 28 und der Primärkreis 14 des Induktionsapparats, welcher ebenfalls einen Unterbrecher enthält, gleichzeitig ihren Strom von der Batterie 27 erhalten. Trotz des seltenen Aufwandes an Geschicklichkeit, womit der Erfinder die verschiedenen Teile seiner Apparate zusammengesetzt hat, ist es ihm anscheinend doch nicht gelungen, dieselben so zu regulieren, dafs sie, ohne sich gegenseitig zu stören, dauernd in Tätigkeit bleiben konnten.

Fig. 195.



Weitere Versuche sind mit dem Guarinischen Übertrager, soviel bekannt, nicht vorgenommen worden; ebenso wenig hat man bis jetzt von einem vollkommeneren Übertragungsapparat gehört. Es scheint, dafs die Erfinder seit einiger Zeit sich überhaupt nicht mehr mit dem Problem eines derartigen Apparats beschäftigt haben. Vielleicht ist dies eine Folge der Ausdehnung, welche in letzterer Zeit, besonders durch Verbesserung der Empfangsapparate, die Tragweite der drahtlosen Telegraphie erfahren hat; ist doch heute längst die Grenze überschritten, innerhalb deren für absehbare Zukunft das eigentliche Gebiet dieses Verkehrsmittels liegt.

B. Dessau.

Literatur und Patente.

[1]) Wydts und Rochefort, Bull. de la Soc. des Ing. Civils, Nov. 1898.
[2]) Dies., Soc. Franç. de Phys., 6. Mai 1898.
[3]) Veillon, Arch. des Sciences, Okt. 1898.
[4]) Grimsehl, Phys. Zeitschr. Bd. 1, S. 343, 1900.
[5]) Margot, Arch. des Sciences, 4. Ser., Bd. 3, S. 554, 1897.
[6]) Hofmeister, Wied. Ann. Bd. 62, S. 379, 1897.
[7]) Hauswaldt, Ebenda Bd. 65, S. 479, 1898.
[8]) Turpain, L'Éclair. Électr. Bd. 29, S. 156, 1901.
[9]) Armstrong und Orling, Engl. Pat. Nr. 19640 vom 30. Juli 1900.
[10]) Guarini, Bull. de la Soc. Belge des Électriciens Bd. 18, 1901.
[11]) Schäfer, Renz und Lippold, Engl. Pat. Nr. 813 vom 24. Juni 1899.
[12]) Kitsee und Wilson, Amer. Pat. Nr. 650255 vom 22. Mai 1900.
[13]) Dies., Amer. Pat. Nr. 651044 vom 5. Juni 1900.
[14]) Orling und Braunerhjelm, D. R.-P. Nr. 105983 vom 27. Dez. 1898; Engl. Pat. Nr. 1866 vom 26. Jan. 1899.
[15]) Dies., D. R.-P. Nr. 109059 vom 16. Dez. 1898; Engl. Pat. Nr. 1867 vom 26. Jan. 1899.
[16]) Rupp, Elektrotechn. Zeitschr. Bd. 19, S. 237, 1898.
[17]) Dell, Electrical World Bd. 33, S. 839, 1899.
[18]) Tissot, C. R. Bd. 130, S. 902 und 1386, 1900.
[19]) Turpain, Ass. Franç. pour l'Avancement des Sciences, Congrès de Paris 1900.
[20]) Brown, Engl. Pat. Nr. 19710 vom 20. Juni 1900.
[21]) Lodge und Muirhead, Engl. Pat. Nr. 18644 vom 12. Aug. 1897.
[22]) Armstrong und Orling, Engl. Pat. Nr. 19640 vom 29. Sept. 1899.
[23]) Collins, Amer. Pat. Nr. 644497.
[24]) Maréchal, Michel und Dervin, Engl. Pat. Nr. 13643 vom 30. Juli 1900.
[25]) Popoff, Engl. Pat. Nr. 2797 vom 12. Febr. 1900.
[26]) Banti, L'Elettricista, Mai und Juli 1902.
[27]) Marconi, The Electrician, 20. und 27. Juni 1902.
[28]) Ducretet, Engl. Pat. Nr. 9791 vom 9. Mai 1899.

[29]) Berner, D. R.-P. Nr. 109797 vom 15. April 1899.
[30]) Marconi und Wireless Telegraph and Signal Company, Engl. Pat. Nr. 5657 vom 15. Mai 1899.
[31]) Dies., Engl. Pat. Nr. 12326 vom 1. Juni 1898.
[32]) Dies., Engl. Pat. Nr. 25186 vom 19. Dez. 1899.
[33]) Kitsee, Amer. Pat. Nr. 657222 vom 4. Sept. 1900.
[34]) Cole und Cohen, Engl. Pat. Nr. 7641 vom 11. April 1899.
[35]) Guarini, Engl. Pat. Nr. 25591 vom 27. Dez. 1899.

Viertes Kapitel.

Mehrfache und abgestimmte Telegraphie.

55. Mehrfache Telegraphie vermittelst mechanischer Vorrichtungen.

Wie wir im vorigen Kapitel gesehen haben, kann das Problem der drahtlosen Telegraphie zwischen zwei Stationen, wenn auch die einzelnen Apparate noch vielfach der Verbesserung fähig und bedürftig sind, heute im Prinzip als gelöst gelten. Die Aufgabe wird aber aufserordentlich viel schwieriger und verwickelter, sobald die drahtlose Telegraphie aus dem beschränkten Kreise der Versuche oder einzelner isolierter Anwendungen hinaustritt, um sich an dem vielgestaltigen Getriebe des wirklichen praktischen Lebens zu beteiligen. Von diesem Augenblick an mufs die Zahl der Stationen immer mehr zunehmen; die Entfernungen zwischen den verschiedenen gleichzeitig tätigen Sende- oder Empfangsstationen müssen immer geringer werden. Dann kann es nicht ausbleiben, dafs jede von diesen Sendestationen durch ihre Wellen nicht allein den Kohärer derjenigen Empfangsstation beeinflufst, für welche dieselben bestimmt sind, sondern dafs sämtliche nicht zu weit von der einen Sendestation entfernten Empfangsstationen gleichfalls, wenn auch in verschiedenem Grade, der Wirkung dieser Wellen unterliegen; denn der Kohärer, der sich unter allen Wellenindikatoren durch seine besondere Empfindlichkeit auszeichnet, hat dafür den Nachteil, dafs er auf Wellen von den verschiedensten Perioden anscheinend unterschiedslos anspricht. Eine Empfangsstation mufs somit sämtliche Depeschen registrieren, die von den umliegenden Stationen abgesandt werden, und es bedarf keiner besonderen Phantasie, um sich die Verwirrung auszumalen,

die hieraus entstehen mufs. Die drahtlose Telegraphie gelangt also notwendigerweise mit der Zeit an einen Punkt, an welchem ihr praktischer Wert geradezu in Frage gestellt wird, wenn es nicht gelingt, dem geschilderten Übelstand abzuhelfen.

Folgendes ist das Ziel, das erreicht werden mufs. Die von einer Sendestation ausgegebenen Wellen dürfen von sämtlichen in ihrem Wirkungsbereich gelegenen Empfangsstationen nur die eine beeinflussen, für welche sie bestimmt sind. Von mehreren Empfangsapparaten, welche auf einer Station vorhanden sind, darf jeder nur die Wellen registrieren, die von einer bestimmten, ihm zugeteilten Sendestation ausgehen, ohne dafs andere, gleichzeitig ankommende Wellen seine Tätigkeit stören dürfen. Endlich mufs verhindert werden, dafs, wie es heute tatsächlich der Fall ist, jeder beliebige Empfangsapparat, der sich innerhalb der Wirkungssphäre einer Sendestation befindet, die von der letzteren ausgesandten Depeschen nach Belieben abzulauschen vermag.

Solange die drahtlose Telegraphie lediglich über die Mittel verfügt, die wir in den vorstehenden Kapiteln kennen gelernt haben, läfst sich ein durch elektrische Wellen aufgegebenes Telegramm in gewissem Sinne mit einer laut gesprochenen Rede vergleichen. Zwei Personen, die sich allein in einem abgeschlossenen Raume befinden, können ohne Schwierigkeit miteinander sprechen und einander verstehen. Inmitten einer lautlosen Menge, die einen öffentlichen Platz erfüllt, wäre noch immer, und sogar auf erhebliche Entfernungen, eine Verständigung zwischen zwei Personen möglich, aber das gesprochene Wort ist dann nicht allein für denjenigen, an den es gerichtet wurde, sondern für die ganze Menge gleich vernehmlich. Wenn aber, wie dies ja zumeist der Fall sein wird, die Menge lärmend ihre Meinungen und Gefühle kundgibt, so verschwindet jede Möglichkeit einer Verständigung über die nächste Umgebung des Sprechenden hinaus. Bilden die menschliche Stimme und das Ohr, welchem die von jener erzeugten Schallwellen unmittelbar durch die Luft zugetragen werden, das einzige Werkzeug der Verständigung, so läfst sich der geschilderte Übelstand niemals beseitigen; dagegen ist derselbe offenbar nicht vorhanden, falls in der Menge jeder einzelne ein Telephon zur Verfügung hat und durch ein Netz von Drähten mit einem beliebigen zweiten in ausschliefsliche Verbindung treten kann. Diesen Zweck erreichen — abgesehen von der gröfseren Tragweite, welche sie der menschlichen Stimme verleihen — die

Telephonanlagen, welche sich heute in allen groſsen und mittleren Städten vorfinden und auch die kleinen Zentren immer mehr in ihren Bereich ziehen; und einen ähnlichen Zweck erfüllt neben seinen Hauptaufgaben im Grunde auch der elektrische Telegraph, dessen Leitungsdrähte den Erdball umspannen. Die drahtlose Telegraphie ist erst dann an ihrem Ziele angelangt, wenn auch sie in der geschilderten Hinsicht dieselben Vorteile bietet wie das Telephon und der gewöhnliche Telegraph. Es gilt also, auch für die drahtlose Telegraphie das Problem des gleichzeitigen Nachrichtenaustausches zwischen mehreren Stationen und der Geheimhaltung der Nachrichten zu lösen.

Tatsächlich hat sich diese Notwendigkeit schon seit den Anfängen der drahtlosen Telegraphie fühlbar gemacht; und da sich für eine vollkommene Lösung des Problems zunächst keine Aussicht bot, weil der Kohärer, wie bereits gesagt worden, unterschiedslos auf alle elektrischen Wellen anzusprechen scheint, die seine Antenne treffen, so suchte man dem Problem auf indirektem Wege beizukommen.

Einer der ersten Versuche in dieser Richtung rührt von Tommasi[1]) her, nach dessen Ansicht die Entfernung, bis zu welcher die elektrischen Wellen dringen, von dem Abstand zwischen den Kugeln des Oszillators abhängt. Um zu verhindern, daſs die für eine Empfangsstation bestimmten Signale von anderen dem Sendeapparat näheren Stationen ebenfalls entziffert werden können, versieht Tommasi die Sendestation mit zwei Oszillatoren, die gleichzeitig in Tätigkeit treten. Der eine derselben ist so reguliert, daſs die von ihm erzeugten Wellen die Empfangsstation, für welche sie bestimmt sind, wirklich erreichen können, der andere dagegen vermag seine Wellen nur bis auf eine etwas geringere Entfernung zu senden. Läſst man dann, während der erste Oszillator seine Depeschen abgibt, gleichzeitig den zweiten Oszillator in willkürlicher und möglichst unregelmäſsiger Folge Wellen erzeugen, so müssen diese nach der Ansicht des Erfinders auf sämtlichen Stationen, welche dem Sendeapparat näher sind, als die eigentliche Empfangsstation, sich zu den von dem ersten Oszillator gesandten Wellen hinzugesellen. Aus der verwirrten Folge von Signalen wird sich die eigentliche Depesche nicht entziffern lassen, während auf der weiter entfernten Empfangsstation nur die von dem ersten Oszillator ausgehenden Signale eine Wirkung hervorzurufen vermögen. Die Sicherheit wird um so gröſser sein, je

weniger die Tragweite des zweiten Oszillators von derjenigen des ersten verschieden ist; dagegen kann nicht verhindert werden, dafs aufser der gewählten auch andere, ebenso weit oder auch etwas weiter als diese von der Sendestation entfernte Empfangsstationen, wenn sie nur genügend empfindliche Apparate besitzen, die Depeschen erhalten und verstehen. Die von Tommasi vorgeschlagene Lösung des Problems ist also sehr unvollkommen.

Auch ein anderer Vorschlag von Jégou[2]) kommt der wirklichen Lösung nicht viel näher, obschon er anstatt des zum mindesten fraglichen Einflusses der Funkenlänge auf die Tragweite die Abhängigkeit dieser letzteren von der Höhe der Antennen zu Hilfe nimmt. Nach Jégou soll jede Empfangsstation eine Art von Transformator erhalten, der aus zwei induzierenden Stromkreisen und einem induzierten besteht. Der letztere ist mit einem Relais oder einem Stromanzeiger verbunden. Die beiden induzierenden Stromkreise sind von gleichen Dimensionen, aber in entgegengesetztem Sinne gewunden und sie müssen deshalb, wenn sie von gleichen Strömen durchflossen werden, auf den induzierten Stromkreis entgegengesetzte Wirkungen ausüben, welche sich gegenseitig vernichten und das Relais nicht in Tätigkeit treten lassen. Jeder der beiden induzierenden Stromkreise enthält eine Batterie oder ein Element und einen Kohärer und ist mit einer Antenne verbunden; die beiden Antennen sind verschieden lang und die längere ist für die Entfernung, aus welcher die Station Depeschen empfangen soll, gerade hinreichend. Befindet sich ein Sendeapparat eben in dieser Entfernung von der Empfangsstation, so können die von ihm ausgehenden Wellen nur auf den mit der längeren Antenne verbundenen Kohärer einwirken, während der andere unbeeinflufst bleibt und seinen Widerstand beibehält; nur einer von den beiden induzierenden Stromkreisen wird deshalb von einem Strom durchflossen, dieser erweckt einen induzierten Strom und setzt das Relais in Tätigkeit. Dagegen müssen in geringerer Entfernung von dem Sendeapparat die beiden Kohärer beeinflufst werden; es treten in beiden induzierenden Kreisen Ströme auf, deren Wirkungen auf den induzierten Kreis entgegengesetzte Richtung haben und sich darum aufheben. Soll die Empfangsstation mit einer näheren Sendestation in Verbindung treten, so gibt man ihr kürzere Antennen, von denen die längere eben lang genug ist, um durch die Wellen der Sendestation beeinflufst zu werden.

Der Vorschlag von Jégou erfordert offenbar viel kom-

pliziertere Einrichtungen als derjenige von Tommasi. Gleich diesem gewährt er solchen Stationen, die dem Sendeapparat näher sind als die gewählte Empfangsstation, die Möglichkeit, sich gegen die von dem ersteren ausgehenden Wellen in gewissem Maſse zu schützen. Dagegen bleiben wie bei Tommasi sämtliche Stationen, die von dem Sendeapparat ebensoweit entfernt sind wie die gewählte Empfangsstation, der Einwirkung der Depeschen schutzlos ausgesetzt und ebensowenig läſst sich verhindern, daſs an jeder beliebigen Zwischenstation die Depeschen, anstatt mit dem Differentialapparat von Jégou, mit einer einfachen Antenne und einem gewöhnlichen Kohärer aufgefangen werden.

Auf besseren Grundlagen ruht ein von Blondel[5]) erdachtes System der Mehrfachtelegraphie. Von einer Übereinstimmung zwischen der Schwingungsperiode der von dem Oszillator erzeugten Wellen und der Periode der Schwingungen, die irgend ein Teil des Empfängers auszuführen vermag, ist allerdings auch hier keine Rede. Blondel geht von der Tatsache aus, daſs die von den gewöhnlichen Oszillatoren erzeugten Wellen zumeist stark gedämpft sind und daſs deshalb die Wirkung einer Entladung jedesmal vollständig erloschen ist, bevor eine neue Entladung des Oszillators eine neue Emission von Wellen veranlaſst. Die Wirkung jeder Wellenemission unterscheidet sich darum nur wenig von derjenigen eines einzelnen Impulses; Blondels System besteht nun darin, den Zeitabstand, in welchem diese Impulse aufeinanderfolgen, mit dem Rhythmus, nach dem ein geeigneter Empfangsapparat arbeitet, in Übereinstimmung zu bringen. Der Sendeapparat unterscheidet sich deshalb von den im vorigen Kapitel beschriebenen Typen nur durch den in den Primärkreis des Wellenerzeugers eingeschalteten Unterbrecher, der mit konstanter und nicht zu niedriger Periode funktionieren muſs. Zur Wiedergabe der Signale läſst sich entweder einer der Apparate benutzen, die Lodge zu seinem in § 44 beschriebenen System der drahtlosen Telegraphie verwendet und die im wesentlichen aus einer Stimmgabel oder einer schwingenden Platte bestehen, oder auch eines jener Telephone, die, wie das Monotelephon von Mercadier, nur Töne von einer bestimmten Höhe wiedergeben. Selbstverständlich ist der Zweck dieser Apparate nicht die Übertragung des gesprochenen Wortes, sondern nur die Erzeugung von Tönen, die alle die gleiche Höhe besitzen und durch ihre verschiedene Dauer den Punkten und Strichen des Morsealphabets entsprechen. Dafür kann ein derartiger Apparat,

wie leicht begreiflich, nur dann in Schwingungen geraten und einen Ton aussenden, wenn die Impulse, die ihn treffen, im Rhythmus seiner eigenen Schwingungen aufeinanderfolgen. Sind deshalb mehrere Stationen mit Unterbrechern von verschiedener Periode ausgerüstet und befinden sich auf einer Reihe von Empfangsstationen verschiedene Empfangsapparate, von denen jeder auf einen der Sendeapparate abgestimmt ist, so kann jedes von einem dieser letzteren aufgegebene Telegramm nur von einem einzigen Empfangsapparat aufgenommen werden und die Tätigkeit der übrigen Empfangsapparate auf derselben oder auf einer anderen Station wird dadurch in keiner Weise gestört.

Nach dem Gesagten sollte man meinen, dafs durch das Blondelsche System das Problem der vielfachen drahtlosen Telegraphie eine befriedigende Lösung gefunden habe. In der Ausführung ergeben sich jedoch Schwierigkeiten. Der gewöhnliche Kohärer nimmt, wie bekannt, nach der Einwirkung der elektrischen Wellen nur infolge einer Erschütterung seinen normalen Widerstand wieder an, und er vermag deshalb nicht mit der Schnelligkeit zu funktionieren, wie sie dem Rhythmus der hörbaren Töne entspricht. Allerdings gibt es, wie wir gesehen haben, auch Radiokonduktoren, die nach dem Erlöschen der elektrischen Wellen spontan zu ihrem Anfangswiderstand zurückkehren; Blondel hatte auch daran gedacht, Röhren mit verdünntem Gasinhalt, die ebenfalls gegen elektrische Wellen empfindlich sind, für seine Zwecke zu verwerten; aber keine der Vorrichtungen, welche Blondel zur Verfügung standen, funktioniert mit der für die praktische Verwendung erforderlichen Sicherheit. So erklärt es sich, dafs der Blondelsche Gedanke nicht zur Ausführung gelangt ist.

Man hat ferner versucht, diejenigen Hilfsmittel, welche bei der Telegraphie durch Leitung die gleichzeitige Abgabe mehrerer Depeschen auf einem Drahte ermöglichen, auch für die drahtlose Telegraphie nutzbar zu machen. In dieses Gebiet gehört z. B. der von Cohen und Cole[4]) unter dem Namen Selektor vorgeschlagene Apparat, der sich im Prinzip von den sogenannten Linienverteilern gewisser Systeme der Vielfachtelegraphie nicht unterscheidet. Auf der Sendestation hat dieser Apparat die Aufgabe, eine Anzahl von Sendeapparaten abwechselnd und in einem mit grofser Schnelligkeit sich wiederholenden regelmäfsigen Rhythmus mit der Antenne in Verbindung zu bringen; auf der Empfangsstation besorgt ein zweiter Selektor, dessen Gang mit demjenigen des ersten voll-

kommen übereinstimmen mufs, das gleiche für eine Anzahl von Empfangsapparaten. Die Konstruktion des Selektors ist einfach genug. Den Hauptbestandteil eines der von Cohen und Cole vorgeschlagenen Apparate bilden eine Anzahl leitender Stangen, die nach Art der Speichen eines Rades von einer Achse ausgehen und bei der Drehung der Achse nacheinander mit einer Reihe von Metallstücken in Berührung kommen, von welchen Drähte zu den verschiedenen Sende- oder Empfangsapparaten führen. Ein anderer, dem gleichen Zwecke dienender Apparat besteht in der Hauptsache aus einer geneigten Röhre aus isolierendem Material, in die ihrer ganzen Länge nach ein Metallstreifen eingelassen ist; diesem gegenüber befindet sich eine Reihe von Platinspitzen, die zu den verschiedenen Sende- oder Empfangsapparaten führen und durch Quecksilbertropfen, die in der Röhre herabfliefsen, nacheinander mit dem Streifen in Verbindung gebracht werden. Besondere Vorrichtungen sorgen für die Erhaltung des Synchronismus der Bewegung der Selektoren auf den beiden Stationen. Solange dieser Synchronismus besteht, tritt offenbar jeder Sendeapparat immer nur mit einem und demselben Empfangsapparat in Verbindung; allerdings dauert diese letztere jedesmal nur sehr kurze Zeit, wiederholt sie sich aber in genügend raschem Rhythmus, so ist der Verkehr zwischen einem Sendeapparat und dem zugehörigen Empfangsapparat ebenso ungestört, wie wenn niemals eine Unterbrechung stattfände. Werden die elektrischen Signale von einer Station zur anderen durch einen Draht übermittelt, so erfüllt das geschilderte System oder ein ähnliches in der Tat den beabsichtigten Zweck; aber was für die Telegraphie mit Draht zutrifft gilt keineswegs ohne weiteres auch für die Telegraphie ohne Draht. Hier ist es vielmehr zweifellos, dafs die Wellen, die auf die grofse Entfernung von einer Station zur anderen zu wirken vermögen, auch die geringen Abstände zwischen den verschiedenen Kontakten des Selektorsystems überschreiten werden; die Signale, die von irgend einem der Sendeapparate ausgehen, müssen daher sämtliche Apparate der Empfangsstation mehr oder minder stark beeinflussen. Das Selektorsystem würde also erst dann seinen Zweck erfüllen, wenn Schutzvorrichtungen ausfindig gemacht würden, die verhindern, dafs von sämtlichen Empfangsapparaten einer Station, auch wenn sie gleichzeitig von elektrischen Wellen getroffen werden, in jedem Augenblick mehr als einer durch dieselben beeinflufst wird.

Auf ganz andere Weise sucht Walter[5]) dieses Ziel zu erreichen. Anstatt bei der Abgabe jedes Zeichens den Strom auf der Sendestation nur einmal für kürzere oder längere Dauer zu schliefsen, wie dies bei anderen Systemen geschieht, wenn die Punkte oder Striche des Morsealphabets übertragen werden sollen, erhält Walter jedes einzelne Zeichen vermittelst einer Reihe gesonderter Impulse oder Wellenemissionen, die in bestimmten, aber nicht gleichen Intervallen aufeinander folgen. Zu diesem Zwecke wird der wellenerzeugende Induktionsapparat nicht durch den gewöhnlichen Morsetaster, sondern durch eine kompliziertere Vorrichtung betätigt. Ein Druck auf diese schliefst zunächst für einen Augenblick den Strom des Induktionsapparats; gleichzeitig wird aber dadurch die Hemmung einer rotierenden Scheibe beseitigt; diese vollführt eine rasche Umdrehung, in deren Verlauf eine Reihe von Vorsprüngen, die unregelmäfsig auf dem Umfang der Scheibe verteilt sind, den Strom noch mehrere Male auf kurze Zeit schliefsen und wieder unterbrechen. Eine ähnliche Vorrichtung ist auf der Empfangsstation in den Stromkreis des Kohärers eingeschaltet. Der erste Impuls, der dem Druck auf die Sendevorrichtung unmittelbar folgt, setzt die Empfangsvorrichtung in Freiheit und läfst dieselbe mit der gleichen Geschwindigkeit wie die Sendevorrichtung eine Umdrehung vollführen. Eine Reihe von Vorsprüngen, die genau wie bei der Sende- auch auf dem Umfang der Empfangsvorrichtung verteilt sind, schliefsen den Stromkreis des Kohärers jedesmal in den Augenblicken, in welchen dieser unter der Einwirkung der anlangenden Wellen leitend geworden ist. Der Registrierapparat, der diese Wellenimpulse in sichtbare Zeichen umzusetzen hat, ist so eingerichtet, dafs er nur dann in Tätigkeit treten kann, wenn die Impulse in solcher Anzahl und solchen Zeitabständen aufeinanderfolgen, wie sie den Kontakten der rotierenden Scheiben entsprechen. Wellen, die mit einem anderen Rhythmus aufeinanderfolgen, müssen zwar ebenfalls auf den Kohärer einwirken, aber den Registrierapparat können sie nicht in Bewegung setzen, weil die Momente ihrer Einwirkung auf den Kohärer nie vollständig mit den Momenten des Stromschlusses durch die rotierende Scheibe zusammenfallen, wogegen der Registrierapparat eine vollständige Übereinstimmung verlangt. Vorausgesetzt ist freilich, dafs der Kohärer, nachdem er durch die Einwirkung eines Wellenimpulses leitend geworden war, seinen Widerstand wieder erlangt hat, bevor der nächste Impuls eintrifft; der Kohärer

mufs also schon durch ungemein schwache Erschütterungen sehr rasch wieder in seinen Normalzustand zurückgeführt werden oder er mufs zur Klasse derjenigen Kohärer gehören, die diesen Zustand nach Aufhören der Einwirkung der Wellen alsbald von selbst wieder annehmen. Der ganze Apparat ist übrigens so kompliziert und seine Tätigkeit hängt von dem Zusammenwirken einer so grofsen Zahl verschiedener Organe ab, dafs Störungen nicht ausbleiben können. Zudem gestattet derselbe zwar den gleichzeitigen Austausch mehrerer Depeschen zwischen zwei Stationen, die eine Anzahl voneinander unabhängiger Apparate besitzen, er verhindert aber keineswegs, namentlich wenn nur ein Sendeapparat arbeitet, dafs die von demselben abgegebenen Telegramme mifsbräuchlicherweise mit einem gewöhnlichen Empfangsapparat aufgenommen werden. Jeder der Impulse, aus welchen sich ein Zeichen des Walterschen Systems zusammensetzt, mufs nämlich auf den Kohärer in bekannter Weise einwirken, und ein mit dem letzteren verbundener Morseschreiber wird ganz einfach, anstatt der Punkte und Striche des gewöhnlichen Alphabets, jedesmal eine bestimmte Anzahl in bestimmter Weise aufeinanderfolgender Zeichen wiedergeben. Besser als für die Übermittelung von Nachrichten eignet sich das Waltersche System vielleicht zur Übertragung anderer Wirkungen, wie zur Steuerung von Apparaten, zur Entzündung von Minen u. s. w. Für solche Zwecke scheint der Erfinder dasselbe in der Tat neben der Übermittelung von Nachrichten in zweiter oder gar in erster Linie bestimmt zu haben.

Das Prinzip, welches dem Walterschen System zu Grunde liegt, nämlich die mechanische Übereinstimmung zwischen Sender und Empfänger, ist auch von anderen Erfindern zur Lösung des Problems der vielfachen drahtlosen Telegraphie benutzt worden. So überträgt auch Bull[6]) jedes einzelne Zeichen vermittelst einer Gruppe von Wellenemissionen. Zu diesem Zweck enthält der Sendeapparat einen Papierstreifen, der durch ein Rädergetriebe mit möglichst konstanter Geschwindigkeit fortbewegt wird. Jeder Druck auf den Telegraphentaster setzt einen Mechanismus in Tätigkeit, der den Papierstreifen durchlöchert, ohne dabei seine Bewegung irgendwie zu verlangsamen. Der Papierstreifen wird sodann zwischen einer Reihe von metallenen Unterlagen und darauf ruhenden Metallfedern hindurchgeführt. Das Papier trennt die Feder von ihrer Unterlage; jedesmal aber, wenn ein Loch in dem Papierstreifen die Berührung der Feder mit ihrer Unterlage gestattet,

wird ein Lokalstromkreis geschlossen, dem ein Relais angehört. Der Anker desselben schliefst dann den Primärkreis eines Induktionsapparats und bewirkt die Aussendung von Wellen durch die Antenne des Apparats. Da nun einerseits sämtliche Federn, anderseits sämtliche Unterlagen miteinander in leitender Verbindung stehen, so folgen jedem Druck auf den Taster ebenso viele Wellenemissionen, als Federn vorhanden sind, und die Abstände zwischen den letzteren bestimmen bei gleichförmiger Bewegung des Papierstreifens die Zeitintervalle zwischen den ersteren. Die verschiedenen Sendeapparate einer Station unterscheiden sich voneinander in der Anzahl der Federn und der Gröfse der Intervalle zwischen denselben, dagegen besitzt jeder Empfangsapparat die gleiche Anzahl von Federn in derselben Anordnung, nur in umgekehrter Reihenfolge, wie der Sendeapparat, von welchem er Depeschen empfangen soll. Die Wellen, welche infolge jedes Stromschlusses von der Sendestation ausgehen, treffen die Antenne der Empfangsstation und werden zum Kohärer geleitet; der Strom des letzteren wird geschlossen und löst eine Vorrichtung aus, welche derjenigen der Sendestation vollkommen ähnlich ist. Enthält z. B. der Sendeapparat vier Kontakte, so gibt jedes Loch in dem Papierstreifen des Senders zu vier Wellenemissionen Veranlassung, die auf der Empfangsstation den Lochapparat viermal in Bewegung setzen. Der Papierstreifen des Empfangsapparats erhält also vier Löcher; er wird hierauf zwischen vier Kontakten hindurchgeführt, deren Abstände denjenigen des Senders in umgekehrter Reihenfolge entsprechen. Die Kontakte des Empfängers sind aber nicht, wie diejenigen des Senders, parallel, sondern hintereinander geschaltet, d. h. sie werden nacheinander von dem Strome durchflossen und ein Stromschlufs ist darum nur dann möglich, wenn gleichzeitig unter sämtlichen vier Kontaktfedern sich Löcher befinden. Damit dies jedoch geschehen kann, ist es offenbar notwendig, dafs die Löcher durch die Tätigkeit des dem Empfangsapparate zugeteilten Senders entstanden sind. Es können deshalb mehrere Apparate gleichzeitig funktionieren, ohne sich gegenseitig zu stören; wenn aber nur ein Sendeapparat arbeitet, so vermag das Bullsche System ebenso wenig wie das von Walter die Geheimhaltung der Depeschen zu sichern. Auch die Zahl der Apparate, welche gleichzeitig funktionieren können, ist nicht sehr grofs. Anscheinend hängt dieselbe allerdings nur von der Anzahl der Kontakte ab, die der Papierstreifen nacheinander durchlaufen mufs, aber es ist nicht ratsam, diese letzteren

über eine bestimmte Grenze hinaus zu vermehren, denn damit wächst auch die Zahl der Wellenemissionen, die zur Übertragung jedes Zeichens notwendig sind. Nimmt man noch hinzu, dafs diese Zeichen alle von einerlei Art sind und schon darum zahlreicher sein müssen als beim Morsealphabet, welches über zwei Arten derselben verfügt, so überzeugt man sich leicht, dafs es nicht gut angeht, die Zahl der Wellenemissionen, aus denen sich jedes Zeichen zusammensetzt und die notwendigerweise nur in gewissen Zeitabständen aufeinander folgen können, zu sehr zu steigern. Man würde sonst durch die Langsamkeit der Zeichenfolge einbüfsen, was man durch die Vermehrung der gleichzeitig arbeitenden Apparate gewonnen hatte. Die Notwendigkeit mehrerer getrennter Wellenemissionen für jedes Zeichen bildet überhaupt den schwachen Punkt des Bullschen Systems, das, so geschickt es auch ausgedacht ist und so zweckmäfsig in vieler Hinsicht seine Organe auch kombiniert sind, anscheinend noch keine praktische Verwendung gefunden hat.

56. Das abgestimmte System von Lodge und Muirhead.

Von den im vorigen Paragraphen beschriebenen Systemen bietet, wie wir gesehen haben, kein einziges eine befriedigende Lösung des Problems der vielfachen drahtlosen Telegraphie. Eine solche erfordert, dafs die Frequenz der von dem Oszillator der Sendestation ausgegebenen Wellen sich nach Belieben regulieren läfst und dafs die Empfangsstation eine Vorrichtung enthält, die nur durch Wellen von jener willkürlich gewählten Periode beeinflufst wird, gegen andere Wellen aber unempfindlich ist. Das heifst mit anderen Worten, dafs zwischen dem Sende- und dem Empfangsapparat Syntonie bestehen mufs. Diesen Weg haben Lodge und Muirhead[7]), deren System der abgestimmten Telegraphie durch Induktion zwischen geschlossenen Stromkreisen an anderer Stelle schon beschrieben wurde, auch mit den elektrischen Wellen bereits im Jahre 1897 betreten, zu einer Zeit, als die Telegraphie durch elektrische Wellen überhaupt erst in ihren Anfängen lag. Auch bei diesem System wie bei ihrem früheren besteht das von Lodge und Muirhead angewendete Verfahren darin, den Hauptorganen der beiden Stationen, nämlich dem Oszillator und dem Resonator, möglichst die gleiche Anordnung und die gleichen Gröfsenverhältnisse zu geben.

Beim Sendeapparat ist die Aufgabe der Abstimmung auf

Wellen von einer einzigen Periode verhältnismäſsig leicht zu lösen. Bei dem Righischen Oszillator wird zwischen den beiden mittleren Kugeln, die den eigentlichen Oszillator bilden, und den beiden äuſseren, die mit den Polen des Induktionsapparats zusammenhängen, lediglich durch das Überspringen der äuſseren Funken während kurzer Momente eine Verbindung hergestellt; die Vorgänge im Induktionsapparat und in den Seitenverbindungen können deshalb auf die Periode der im Oszillator auftretenden Schwingungen nur von geringem Einfluſs sein und diese Periode kann sich deshalb kaum von derjenigen unterscheiden, welche dem System der beiden mittleren Kugeln für sich allein zukommen würde. Auch Lodge und Muirhead haben deshalb diese Form des Oszillators beibehalten; doch haben sie demselben passende Kapazitäten und Selbstinduktionen hinzugefügt, durch welche, wie wir im zweiten Teile gesehen haben, die Periode verlängert, also die Frequenz der Schwingungen herabgesetzt wird. Fig. 196 zeigt in schematischer Darstellung die Einrichtung zweier Stationen nach dem System von Lodge und Muirhead. Auf der Sendestation sieht man die beiden Kugeln h_2 und h_3, zwischen denen der Funke überspringt; dieselben sind durch Drahtspulen mit zwei metallenen Kegeln h und h_1 verbunden, welche die Kapazitäten bilden. Eine andere Anordnung zeigt Fig. 197. Der Oszillator besteht aus den beiden Kugeln h_2 und h_3 mit Selbstinduktionen und Kapazitäten. Der Apparat entlädt sich durch die in h_1 und h_4 zwischen den Enden des Oszillators und zweier Drähte überspringenden Funken; diese Drähte führen zu den äuſseren Belegungen zweier Leydener Flaschen, deren innere Belegungen mit den Polen eines Induktionsapparats in Verbindung sind. Die Selbstinduktionsspulen bestehen nur aus wenigen Windungen mit oder ohne Eisenkern; der Betrag

Fig. 196.

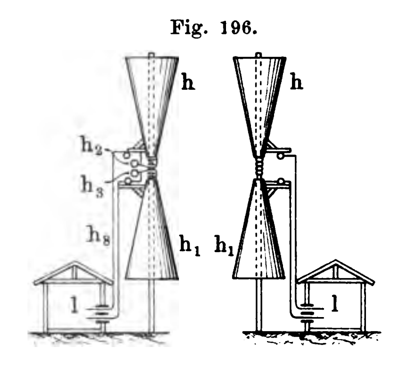
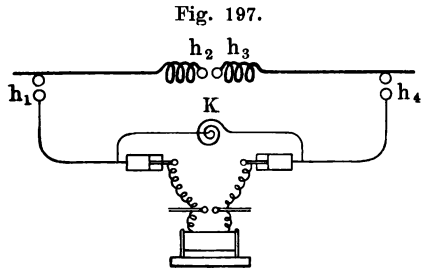


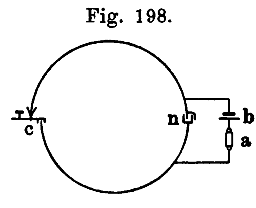
Fig. 197.



der Selbstinduktion und damit die Schwingungsperiode läfst sich regulieren, indem man die vorhandenen Spulen durch andere von gröfserer oder geringerer Windungszahl ersetzt, oder indem man mit Hilfe einer Hebelvorrichtung den Abstand zwischen den Windungen der Spulen verändert.

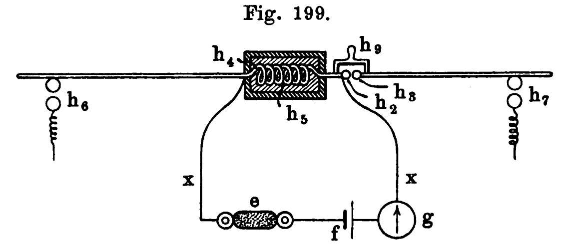
Weniger leicht gestaltet sich die Aufgabe der Abstimmung beim Empfänger. Tietz[8]) hatte sogar die Syntonie zwischen Strahlapparat und Resonator, falls der letztere einen Kohärer enthält, überhaupt für unmöglich erklärt, weil der Kohärer auf jede Wellenlänge anspricht. Aus diesem Grunde hatte Tietz andere Wellenindikatoren vorgeschlagen, die jedoch in die Praxis keinen Eingang fanden. Lodge und Muirhead dagegen versichern, dafs es ihnen durch eine besondere Art der Einschaltung des Kohärers in den Resonatorstromkreis gelungen sei, der Schwierigkeit Herr zu werden. Die Anordnung, die sie zu diesem Zwecke benutzt haben, ist in Fig. 198 abgebildet; sie zeigt eine gewisse Ähnlichkeit mit den kreisförmigen Resonatoren von Hertz. *c* ist der Kohärer mit einfachem Kontakt, *a* der Telegraphenempfänger, der samt seiner Batterie *b* eine Parallelschaltung zu den Belegungen eines Kondensators *n* von hinreichender Kapazität bildet.

Fig. 198.



Später haben Lodge und Muirhead dem Empfänger eine Anordnung gegeben, die mit derjenigen des Senders vollkommen

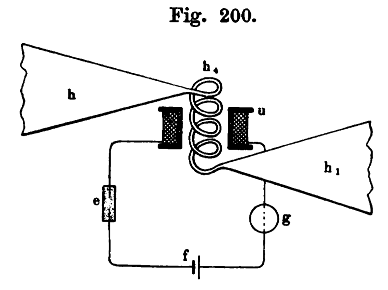
Fig. 199.



übereinstimmt. Die gleichen Vorrichtungen können dann, wie aus Fig. 199 ersichtlich ist, für beide Zwecke dienen; sollen Signale empfangen werden, so braucht man nur vermittelst des Bügels h_9 die beiden Leiter, zwischen denen, wenn der Apparat als Sender fungiert, die Funken überspringen, in direkte Verbindung miteinander zu bringen. Fig. 200 (a. f. S.) stellt eine andere Anordnung dar; der Resonator besteht einfach aus zwei durch eine Spule h_4

miteinander verbundenen Kapazitäten $h\,h_1$ und enthält weder den Kohärer noch den Telegraphenapparat mit seiner Batterie; die durch Resonanz erregten Schwingungen wirken auf den Kohärer durch Vermittlung der Induktion zwischen der Spule des Resonatorkreises und einer Sekundärspule *u*, welche die erstere umgibt und samt der Batterie *f* und dem Telegraphenapparat *g* in den Stromkreis des Kohärers *e* eingeschaltet ist. Die gleiche Anordnung wurde später auch von der „Wireless Telegraph and Signal Company" benutzt, und wir haben dieselbe, da sie der genannten Gesellschaft zunächst nur für Zwecke der einfachen Telegraphie diente, bereits an anderer Stelle beschrieben. Wie wir in diesem Kapitel noch erfahren werden, bildet dieselbe auch einen wichtigen Bestandteil des Systems der syntonischen Telegraphie, welches diese Gesellschaft neuerdings auf ihren Stationen einführt. Lodge und Muirhead scheinen allerdings dieser Anordnung, obschon sie als der beste Teil ihres Systems bezeichnet werden muſs, keine besondere Bedeutung beigelegt zu haben; überhaupt ist ihr System, soviel man weiſs, niemals auch nur zu Versuchen in gröſserem Umfange benutzt worden.

Fig. 200.



57. Das System Braun [9]).

Die meisten Erfinder im Gebiete der drahtlosen Telegraphie haben ihre Aufmerksamkeit ausschlieſslich oder doch in erster Linie der Vervollkommnung der Empfangsapparate zugewendet. Im Gegensatz hierzu hat das Braunsche System, mit dem wir uns nunmehr befassen wollen, seinen Schwerpunkt in den wellenerzeugenden Organen. Braun hält die übliche Anordnung des Oszillators, der einerseits mit dem zur Erde führenden Drahte, anderseits mit der Antenne verbunden ist und dieser letzteren ungemein rasche Schwingungen zuführt, aus mehreren Gründen für verfehlt. Um den Wirkungsbereich der Wellen zu erweitern, bietet sich nämlich bei dieser Anordnung nur das unbequeme Mittel der Verlängerung der Antenne. Allerdings wächst die Tragweite der Wellen auch mit der Intensität derselben, also mit der Energie der Entladung, die wiederum von der Höhe des Entladungspotentials

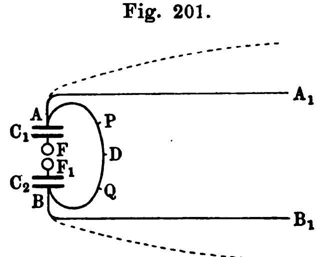
abhängt; dieses aber kann nicht beliebig gesteigert werden. Hohe Potentiale können leicht gefährlich werden und erfordern deshalb eine ungemein sorgfältige Isolierung der Antenne und ihrer Zuführungsdrähte, die sich in der Praxis nur schwer durchführen läſst; ferner gelangt man, wenn der Abstand zwischen den Kugeln des Oszillators, also die Funkenlänge — denn diese bedingt das Entladungspotential — vergröſsert werden soll, bald an einen Punkt, wo die Entladung ihren oszillatorischen Charakter verliert. Und auch bevor dieser Zustand eintritt, in welchem die Entladung überhaupt keine Wellen mehr erzeugt, verwandelt sich ein immer gröſserer Bruchteil der Entladungsenergie innerhalb des Funkens in Wärme und geht für den eigentlichen Zweck verloren; mit der Länge der Funken wächst endlich auch die Dämpfung der durch jede Entladung erzeugten Schwingungen. An und für sich ist es zwar unvermeidlich, daſs die Schwingungen nach und nach verlöschen, denn ein Teil ihrer Energie strahlt ja in Gestalt der elektromagnetischen Wellen in den Raum hinaus, und die Übertragung von Signalen auf gröſsere Entfernungen beruht gerade darauf, daſs der Oszillator die gröſstmögliche Menge elektromagnetischer Energie aussendet. Um so mehr aber ist es notwendig, die nicht mit der Strahlung als solcher zusammenhängenden Dämpfungsursachen auf ein Minimum zu beschränken, besonders auch, weil stark gedämpfte Wellen sich beinahe wie Einzelimpulse verhalten, die mit der Frequenz der Unterbrechungen des Primärstromes aufeinander folgen. Solche Wellen müssen, wie bereits erwähnt worden, ziemlich unterschiedslos auf jeden Empfänger einwirken und eignen sich daher nur schlecht zur Lösung des Problems der Syntonie.

Alle diese Übelstände hängen nun nach Braun zum groſsen Teil mit der üblichen Anordnung der Oszillatoren zusammen, die aus offenen Stromkreisen von geringer Kapazität zu bestehen pflegen. Derartige Apparate lassen nur kleine Energiemengen ansammeln und diese werden bei der Entladung rasch verbraucht, viel rascher, als der Induktionsapparat die Ladungen nachzuliefern im stande ist. Ein Blick auf die in § 32 beschriebenen ursprünglichen Formen des Hertzschen Oszillators zeigt jedoch sofort, auf welche Weise sich die geschilderten Übelstände beseitigen oder doch erheblich vermindern lassen: man braucht nur die Endplatten, welche sich in einer dieser Formen vorfinden, gegenseitig zu nähern, bis sie einander parallel und nur durch eine dünne isolierende Schicht

getrennt sind. Dieselben bilden dann einen richtigen Kondensator, der eine grofse Kapazität besitzen kann; mit dieser steigt der für jede Entladung verfügbare Energiebetrag und die Zahl der Schwingungen, die im Gefolge jeder Entladung auftreten können. Mit der Kapazität des Systems wächst ferner die Periode der Schwingungen oder die Länge der in den Raum ausgesandten Wellen, und dieser Umstand kann ebenfalls von Vorteil sein, weil längere Wellen etwaige Hindernisse, die sich ihrer Ausbreitung entgegensetzen, leichter zu umgehen vermögen. Die Länge der Wellen, mit denen die ersten Versuche über drahtlose Telegraphie angestellt wurden, betrug höchstens ein paar hundert Meter; dagegen arbeitet Braun mit Wellen, deren Länge sich nach Kilometern mifst. Aufser der Kapazität des Systems bietet auch eine in den Stromkreis eingeschaltete Selbstinduktion ein bequemes Mittel zur Regulierung der Periode der erzeugten Wellen.

Für die Zwecke der drahtlosen Telegraphie ist freilich die geschilderte Anordnung, die im wesentlichen aus einem Kondensator mit seinem Entladungskreise, d. h. aus einem beinahe geschlossenen Stromkreise besteht, nicht ohne weiteres brauchbar. Denn ein solcher bietet zwar geeignete Bedingungen für die Erzeugung kräftiger und andauernder Schwingungen, aber diese vermögen in dem umgebenden Dielektrikum nur Wellen von geringer Intensität hervorzurufen. Die Schwingungen des beinahe geschlossenen Stromkreises müssen zunächst einem offenen Stromkreise mitgeteilt werden, oder mit anderen Worten, man mufs mit jenem noch die von Marconi benutzte Antenne in geeigneter Weise verbinden. Diese beteiligt sich dann an den im beinahe geschlossenen Stromkreise erzeugten Schwingungen und ist besser als jener im stande, dieselben an den umgebenden Raum zu übertragen.

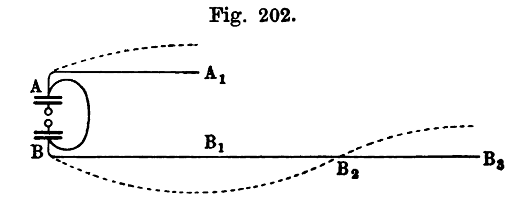
Fig. 201.



Natürlich können die in der Antenne erregten Schwingungen nur dann ihre gröfste Stärke erlangen, wenn zwischen dem Stromkreise und der Antenne Resonanz stattfindet, d. h. wenn beide die gleiche Schwingungsperiode besitzen. Die Wichtigkeit der Resonanz läfst sich nach Braun vermittelst der in Fig. 201 abgebildeten Versuchsanordnung zeigen. C_1 und C_2 sind zwei Kondensatoren, die von einer (in der Abbildung nicht enthaltenen)

Elektrizitätsquelle geladen werden; sie entladen sich durch Funken zwischen den Kugeln F und F_1. Die äufseren Belegungen der beiden Kondensatoren stehen durch den Selbstinduktionskreis PDQ miteinander in Verbindung; aufserdem gehen von ihnen zwei Drähte AA_1 und BB_1 aus. Die periodischen Schwankungen des Potentials, welche bei jeder zwischen den Kugeln stattfindenden Entladung in den äufseren Belegungen der Kondensatoren entstehen, rufen in den beiden Drähten ähnliche Schwankungen hervor, die ihre gröfste Amplitude erreichen, wenn die Länge jedes Drahtes gleich einem Viertel der Wellenlänge ist. In diesem Falle bildet sich auf jedem der beiden Drähte eine stationäre Welle mit einem Knoten in der Nähe des Kondensators und einem Schwingungsbauch am freien Ende. In der Tat erhält man, wenn man in geringer Entfernung von einem der Drähte längs desselben eine zur Erde abgeleitete Metallkugel fortbewegt, zwischen dem Drahte und der Kugel Funken, die um so länger werden, je näher man dem Ende des Drahtes kommt. Macht man einen der Drähte, wie in Fig. 202, gleich drei Vierteln einer Wellenlänge, so konstatiert man auf demselben zwei Schwingungsknoten, von denen der eine nahe beim Kondensator, der andere zwei Drittel der Drahtlänge von dem Kondensator entfernt gelegen ist, sowie zwei Bäuche, von denen der eine sich in der Mitte zwischen den beiden Knoten, der andere am freien Ende des Drahtes befindet. An den freien Drahtenden, mögen nun die beiden Drähte gleiche Länge oder mag der eine die dreifache Länge des anderen haben, sind also die Potentialwerte immer von gleichem absolutem Betrage.

Fig. 202.



Die Verteilung des Potentials längs der Drähte läfst sich, anstatt vermittelst der zwischen diesen und einer Kugel überspringenden Funken, auch mit Hilfe einer Entladungsröhre verfolgen, deren verdünnter Gasinhalt in der Nähe der Schwingungsbäuche des Potentials am stärksten, in der Nähe der Knoten schwach oder gar nicht leuchtet.

Dafs es sich bei dem geschilderten Versuche um eine wirkliche Resonanzerscheinung zwischen dem Kondensatorkreis und den offenen Bahnen der beiden Drähte handelt, kann nicht zweifelhaft

sein. Zwischen dem freien Ende eines der Drähte und der zur Erde abgeleiteten Kugel erhielt nämlich Braun Funken von beinahe 40 mm Länge, während zwischen den inneren Belegungen der Kondensatoren nur auf 5 mm Entfernung Funken übersprangen. Diese Erscheinung würde vollkommen unerklärlich bleiben, wenn nicht bekanntermafsen die Resonanz im stande wäre, selbst überaus schwache Einzelwirkungen miteinander zu verbinden und auf solche Weise einen Gesamteffekt hervorzubringen, der die Intensität der erregenden Ursache in einem bestimmten Augenblicke weit übertreffen kann. Zerstört man dagegen die Resonanz, so sinkt auch die Intensität der Schwingungen in den Drähten bedeutend. Braun erzielt dies ganz einfach, indem er in den Selbstinduktionskreis PDQ (Fig. 201) eine Flüssigkeitssäule einschaltet; obschon die dadurch hervorgebrachte Erhöhung des Widerstandes den oszillatorischen Charakter der Entladungen zwischen den inneren Belegungen der Kondensatoren keineswegs beeinträchtigt, so wird doch durch diese anscheinend geringfügige Abänderung die Länge der Funken zwischen den freien Enden der Drähte und der zur Erde abgeleiteten Kugel auf weniger als die Hälfte herabgesetzt. Den Vorgang, der in diesem Falle auf den Drähten stattfindet, bezeichnet man als erzwungene Schwingung.

Die in Fig. 201 dargestellte Versuchsanordnung unterscheidet sich nicht wesentlich von der Lecherschen, von der in § 31 die Rede gewesen ist. Die Kondensatoren der Lecherschen Anordnung bilden mit den bis zur Brücke reichenden Strecken der parallelen Drähte und der Brücke, welche diese Drähte miteinander verbindet, einen Entladungskreis, der dem Kreise $C_1 C_2 QDP$ der Fig. 201 vollkommen entspricht. Auch bei der Lecherschen Anordnung findet zwischen dem Entladungskreis und den offenen Strecken der parallelen Drähte Resonanz statt; indessen lassen sich nach Braun mit dieser Anordnung keine kräftigen Wirkungen erzielen, teils weil die Primärschwingung zu stark gedämpft und die Entfernung zwischen den parallelen Drähten zu gering ist, teils auch, weil diese letzteren mit dem Entladungskreise an Stellen verbunden sind, die für die Übertragung kräftiger Schwingungen keine so günstigen Bedingungen bieten wie die unmittelbare Nähe der Kondensatoren.

Besteht zwischen den Schwingungsperioden des Entladungskreises und des angefügten Leiters ein zu grofser Unterschied, so können die erzwungenen Schwingungen, welche in dem letzteren

zu stande kommen, sich nicht mehr zu wirklichen stationären Wellen ausbilden und ihre Intensität bleibt notwendigerweise sehr gering. Darin liegt nach Braun der Fehler der Antenne des Marconischen Senders. Um die Richtigkeit dieser Anschauung zu zeigen, verband Braun mit dem einen Pol eines Induktionsapparates, dessen anderer Pol zur Erde abgeleitet war, einen langen Draht; eine Anzahl von Entladungsröhren, die längs dieses Drahtes verteilt waren, leuchteten alle gleichmäfsig und gaben keinerlei Anzeichen für das Vorhandensein von Knoten und Bäuchen. Nach Slaby[10]) rührt jedoch diese Erscheinung nur davon her, dafs gleichzeitig mit den raschen Schwankungen des Potentials, die mit der oszillatorischen Entladung zusammenhängen, auch langsame Potentialänderungen stattfinden, die von dem Sekundärkreis des Induktionsapparats ausgehen. Sie lagern sich über die ersteren und können dieselben vollständig verdecken; Slaby zeigt indessen, dafs man sie zu beseitigen vermag, wenn man den Pol des Induktionsapparats, von welchem die Antenne ausgeht, mit der Erde verbindet; dann wird die Zunahme des Potentials längs des Drahtes sichtbar. Braun[11]) ist freilich der Ansicht, dafs auch in diesem Falle noch die Schwingungen des Erregerkreises sich, wenngleich mit geringerer Intensität, über die Eigenschwingungen der Antenne lagern. Im übrigen ist die Frage, ob nur bei der Braunschen und nicht auch bei der Marconischen Anordnung sich am freien Ende der Antenne ein richtiger Schwingungsbauch ausbildet, überhaupt von sekundärer Bedeutung; charakteristisch für das Braunsche System ist vor allem, dafs dasselbe mit jeder Entladung bedeutende Energiemengen in Bewegung zu setzen und doch den Übelstand einer zu starken Dämpfung zu vermeiden gestattet. Wie wir sahen, benutzt Braun zu diesem Zwecke Kondensatoren, in welchen sich, ohne dafs man bis zu sehr hohen Potentialen zu gehen braucht, hinreichende Energiemengen aufspeichern lassen, um die mit der Ausstrahlung der Wellen verbundenen Verluste alsbald wieder zu ergänzen.

Fig. 203 (a. f. S.) zeigt schematisch eine der einfachsten Senderanordnungen des Braunschen Systems. C ist der Kondensator, der vermittelst eines Induktionsapparats geladen wird; ferner zeigt die Abbildung die beiden Kugeln, zwischen denen die Funken überspringen, sowie die Selbstinduktion S, die den Entladungskreis vervollständigt. Eine der Kugeln ist mit der Antenne, die zweite ist mit einer der Belegungen des Kondensators verbunden, dessen

andere Belegung zur Erde abgeleitet ist. Wie wir sehen werden, gleicht diese Anordnung fast vollständig einer Senderschaltung, die Slaby für sein System der abgestimmten Telegraphie benutzt, aber in der Folge wieder aufgegeben hat. Auch Braun bevorzugte später die in Fig. 204 abgebildete symmetrische Anordnung; dieselbe ergibt sich aus derjenigen der Fig. 201 ohne weiteres, wenn man sich von den beiden parallelen Drähten AA_1 und BB_1 den einen als Antenne in die Höhe gerichtet, den anderen mit dem Erdboden verbunden denkt. Im Verlauf seiner Versuche fand dann Braun

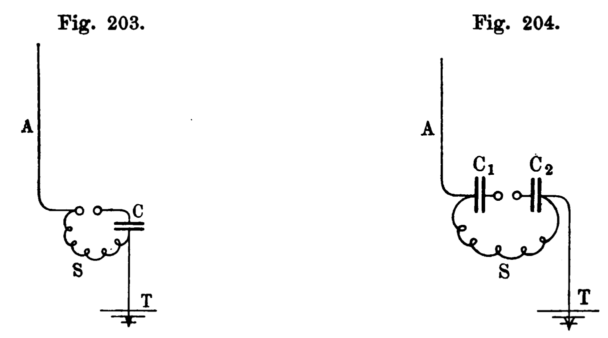
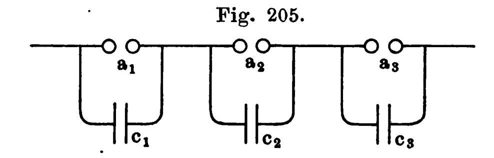


Fig. 203. Fig. 204.

die Erdverbindung, wenigstens beim Sender, vollkommen überflüssig; der zweite Leiter blieb von da an isoliert.

Anstatt eines einzigen Kondensators kann man auch mehrere benutzen. Braun verbindet dieselben miteinander in einer Reihenschaltung, die sich jedoch von der bekannten Kaskadenanordnung unterscheidet; bei dieser letzteren läfst man nämlich nur zwischen den Endbelegungen der ganzen Reihe Funken überspringen, da-

Fig. 205.



gegen führen bei Braun die Belegungen eines jeden Kondensators zu zwei Kugeln, die einander so nahe sind, dafs zwischen ihnen Entladungen stattfinden. Diese Anordnung ermöglicht es, eine beliebige Zahl von Kondensatoren zu vereinigen und grofse Energiemengen in Bewegung zu setzen, ohne den oszillatorischen Charakter der Entladung zu gefährden oder auch nur die Schwingungsperiode zu beeinflussen, da jeder Kondensator sich zwischen seinen eigenen Belegungen entlädt. Die geeignetste Form für

diese Schaltungsweise ist nach Braun die in Fig. 206 abgebildete, in welcher eine der Belegungen jedes Kondensators die andere vollständig umgibt und die Kapazität der Kugeln und der Verbindungsdrähte auf ein Minimum reduziert ist.

Die direkte metallische Verbindung zwischen einem Schwingungskreise und einer offenen Strombahn, wie sie den bisher beschriebenen Schaltungen zu Grunde liegt, ist übrigens nicht das einzige Mittel, um die in dem geschlossenen Kreise erzeugten Schwingungen auf die offene Bahn zu übertragen. Einen anderen Weg bietet die sogenannte elektromagnetische Koppelung: man kann den Stromkreis, in welchem die Entladungen stattfinden, sowohl von der Antenne wie von der Erde vollständig trennen und dafür in denselben die Primärwickelung eines Induktors einschalten, dessen Sekundärwickelung einerseits mit der Antenne, anderseits mit der Erde oder mit einem zweiten, gleich der Antenne isolierten Leiter in Verbindung steht. Das Schema dieser Anordnung ist in Fig. 207 dargestellt; J ist der Induktionsapparat, der die beiden Kondensatoren CC lädt; dieselben entladen sich durch Funken in dem Intervall S. Die Schwingungen, welche

Fig. 206.

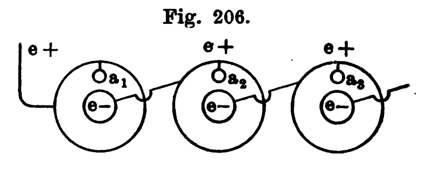
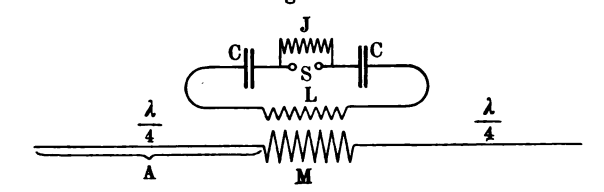


Fig. 207.



dadurch in dem Stromkreise der beiden Kondensatoren entstehen und die die Primärwickelung L eines Induktionsapparats oder Transformators durchlaufen, wirken durch Induktion auf die Sekundärwickelung M und rufen in derselben ähnliche Schwingungen hervor. Die gröfste Intensität erlangen diese induzierten Schwingungen, wenn die Eigenperiode des induzierten Kreises, welcher aus der Sekundärwickelung M, der Antenne A und dem auf der anderen Seite an M angesetzten Leiter besteht, mit derjenigen des Entladungskreises übereinstimmt.

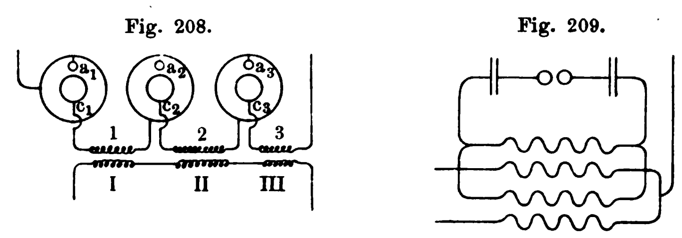
Diese induktive Erregung bildet ebenfalls einen wichtigen Bestandteil des Braunschen Systems. Nach ihrem Erfinder be-

sitzt sie den Vorzug, die Anwendung gröſserer Energiemengen zu gestatten, als dies, selbst bei Benutzung von Kondensatoren, mit der direkten Koppelung zulässig wäre. Auf Grund von Messungen überzeugte sich Braun, daſs die Steigerung der Intensität des Primärstromes, der den Induktionsapparat speist, bei dem älteren System, welches überhaupt keine Kondensatoren verwendet, bald an einen Punkt führt, wo die von der Antenne ausgestrahlte elektromagnetische Energie überhaupt keiner Zunahme mehr fähig ist; dagegen nimmt bei Anwendung von Kondensatoren, und namentlich wenn die Schwingungen in dem System der Antenne auf induktivem Wege erregt werden, die Energie der Strahlung mit der Intensität des Primärstromes noch weiter zu. Starke Ströme, wie sie für die Übertragung von Signalen auf groſse Entfernungen unentbehrlich sind, werden auf diese Weise besser ausgenutzt und man kann in der Strombahn der Antenne, zumal wenn zwischen dieser und dem Entladungskreise Resonanz besteht, Schwingungen von ungemein groſser Intensität erhalten. Dabei ist die Dämpfung dieser Schwingungen gering, weil die Strombahn der Antenne nur ununterbrochene metallische Leiter enthält und darum zu Energieverlusten, abgesehen von den durch die Strahlung selbst bedingten, sehr wenig Veranlassung gibt. Ferner gehören die Schwingungen in der Strombahn der Antenne fast ausschlieſslich einer bestimmten Periode an, die sich durch Änderung der elektrischen Dimensionen des Stromkreises innerhalb weiter Grenzen willkürlich regeln läſst. Die vollständige Trennung der Strombahn der Antenne von dem Entladungskreise gewährt endlich auch den Vorteil, daſs die erstere nur von den oszillatorischen Strömen durchflossen wird, die trotz ihres ungemein hohen Potentials bekanntlich keine physiologischen Wirkungen äuſsern; man kann die betreffenden Leiter ohne Gefahr berühren und dieselben bedürfen daher keiner besonders sorgfältigen Isolierung. Da eine Verbindung mit der Erde überflüssig ist, so werden auch die atmosphärischen Entladungen, welche die Tätigkeit der Apparate beeinträchtigen und Gefahren mit sich bringen könnten, nicht herangezogen.

Auch auf die induktive Erregung läſst sich die in Fig. 205 skizzierte Serienschaltung mehrerer Kondensatoren anwenden; man gelangt dadurch zu einer Anordnung nach Art der in Fig. 208 abgebildeten. Oder man kann auch, wie dies in Fig. 209 dargestellt ist, die Primärschwingung auf mehrere induzierende Kreise

verteilen, die auf ebenso viele induzierte Kreise einwirken; diese sind parallel zueinander zwischen die Antenne und die Erdverbindung oder einen isolierten Leiter geschaltet. Braun gibt noch eine Reihe weiterer Anordnungen, die sämtlich auf den gleichen Grundlagen beruhen und den Zweck verfolgen, möglichst reine und ungedämpfte Schwingungen zu erzeugen und durch Ansammlung grofser Energiemengen in den Kondensatoren oder durch

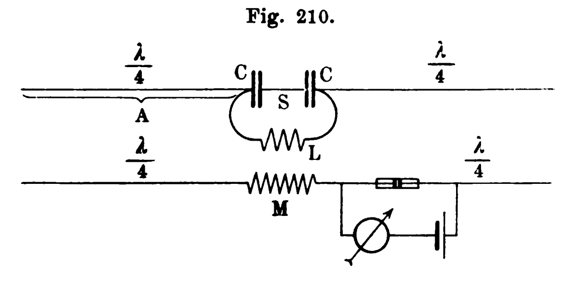
Fig. 208. Fig. 209.



Erhöhung des Potentials mit Hilfe von Transformatoren die ausgestrahlte Energie zu steigern. Wir übergehen die Beschreibung dieser verschiedenen Schaltungsweisen, die sich von den geschilderten nur wenig unterscheiden und darum kein besonderes Interesse bieten.

Während der Sender die Aufgabe hat, möglichst reine und ungedämpfte Wellen auszustrahlen, soll der Empfänger so eingerichtet sein, dafs er auf Wellen von der dem Sender eigenen Periode mit der gröfsten erreichbaren Empfindlichkeit anspricht, gegen Wellen von anderer Periode dagegen möglichst unempfindlich ist. Auch bei dem Braunschen System werden die ankommenden Wellen durch die Antenne aufgefangen; diese aber leitet dieselben nicht direkt zu dem Radiokonduktor, sondern zu

Fig. 210.



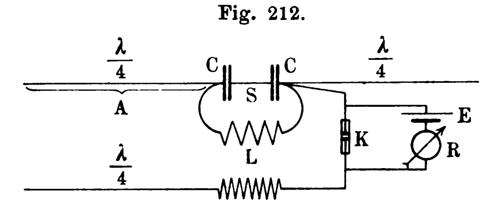
einem Resonanzkreis, der die eintreffende Energie ansammelt. Dieser Kreis enthält, ähnlich demjenigen des Sendeapparats, zwei Kondensatoren *CC* (Fig. 210) in Serienschaltung; die beiden Kon-

densatoren stehen durch eine Spule L miteinander in Verbindung und an den einen schliefst sich die Antenne A, an den zweiten ein gleich langer Draht oder ein anderer Leiter von derselben Schwingungsperiode. Soll das Maximum der Wirkung erzielt werden, so mufs man die Kapazität und die Selbstinduktion dieses Stromkreises derart regeln, dafs sowohl mit den von der Sendestation anlangenden Wellen, als auch mit dem anderen Stromkreise der Empfangsstation, der die zweite Wickelung M des Transformators enthält, Resonanz besteht. Sind diese Bedingungen erfüllt, so wird nach **Braun** der Empfänger gegen Wellen, deren Periode von der seinigen abweicht, sowie gegen atmosphärische

Fig. 211.

Störungen ganz oder nahezu unempfindlich, während er auf Wellen von seiner eigenen Periode mit der gröfsten Stärke anspricht. Fig. 210 zeigt ferner, in welcher Weise der Kohärer samt seiner Batterie und dem Relais, welches den Lokalstromkreis schliefst, mit der Sekundärwickelung des Transformators der Empfangsstation verbunden ist. Anstatt dieser Schaltung für induktive Erregung, die derjenigen der Sendestation völlig analog ist, kann man den Kohärer auch unmittelbar an den Kondensatorkreis anschliefsen; endlich ist eine gemischte Schaltung möglich, indem man den Kohärer direkt mit dem Kondensatorkreis, gleichzeitig aber auch mit einer Spule verbindet, auf welche die im Kondensatorkreise enthaltene Spule durch Induktion einwirkt. Diese beiden Schaltungsweisen, die in Fig. 211 und 212 skizziert sind, bedürfen keiner weiteren Erläuterung. Erwähnt sei nur, dafs sowohl bei den verschiedenen Anordnungen des Empfangsapparats wie auch bei denjenigen des Senders die Leiter, die symmetrisch zur Antenne mit den Kondensatoren verbunden oder beiderseits an die

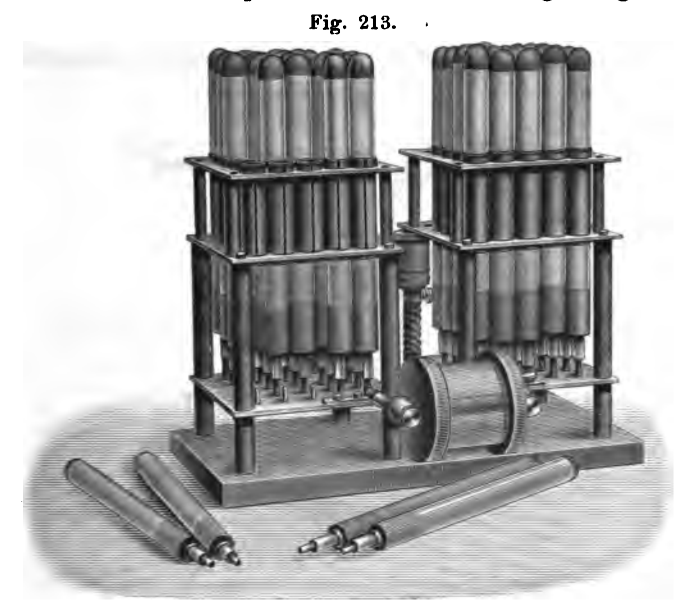
Fig. 212.



zweite Wickelung des Transformators angeschlossen sind, in den Abbildungen als geradlinige Drähte erscheinen, in Wirklichkeit aber ebenso gut zu Spulen aufgewunden oder durch Platten oder anders gestaltete Leiter ersetzt werden können, wenn nur die Schwingungsperiode dabei unverändert bleibt.

Das Braunsche System wird mit einigen von Siemens und Halske herrührenden Abänderungen durch die „Gesellschaft für drahtlose Telegraphie“ verwertet. Von den Einzelheiten der Apparate, wie sie für den praktischen Gebrauch angefertigt werden,

Fig. 213.



greifen wir folgendes heraus. Der Stromkreis, in welchem die Schwingungen entstehen, enthält, wie bereits gesagt worden, die in Fig. 207 angedeuteten beiden Kondensatoren. Jeder von denselben besteht, wie Fig. 213 zeigt, aus einer Anzahl von Leydener Flaschen, von denen jede aus einem Glasrohr von 25 mm Durchmesser und $2^1/_2$ bis 3 mm Wandstärke hergestellt ist. Die Flaschen sitzen in einem Gestell, aus welchem man sie leicht herausnehmen kann, um die Kapazität nach Bedarf zu verändern oder eine zerbrochene Flasche durch eine andere ersetzen zu können. Die Ladung der Kondensatoren besorgt ein Induktionsapparat, dessen Windungen nicht so sehr auf hohe Steigerung des Potentials, als vielmehr auf möglichst ausgiebige Elektrizitätserzeugung berechnet

sind. In den Primärkreis des Induktionsapparats ist ein Simonscher Unterbrecher eingeschaltet, den wir an anderer Stelle beschrieben haben. Wird mit nicht sehr starken Strömen gearbeitet, so kann anstatt des Simonschen Unterbrechers zweckmäfsiger ein Quecksilberstrahlunterbrecher verwendet werden.

Nach dem Schema der Fig. 207 entladen sich die Kondensatoren durch einen Funken zwischen Kugeln, die mit je einer Belegung in Verbindung stehen; die anderen Belegungen sind durch die Primärwickelung eines Transformators miteinander verbunden, dessen Dimensionen so berechnet sind, dafs sie im Verein mit der Kapazität der vorhandenen Kondensatoren eine Wellen-

Fig. 214.



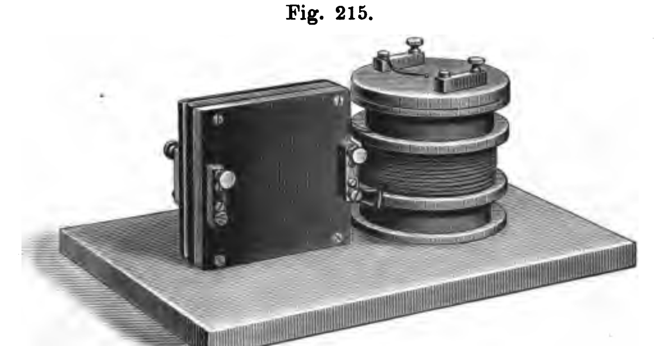
länge liefern, die ungefähr das Vierfache der Länge der auf der Station verfügbaren Antenne beträgt. Auch die Sekundärwickelung mufs auf diese Schwingungsdauer abgeglichen sein; ihre Länge läfst sich nur empirisch feststellen und die stärkste Resonanz mufs durch Probieren ausfindig gemacht werden. Da in diesem Transformator sehr hohe Potentiale auftreten, so ist derselbe der besseren Isolierung halber in ein mit Öl gefülltes Gefäfs getaucht. Die äufsere Gestalt des Transformators ist in Fig. 214 zu sehen.

Im Empfänger kommen natürlich nur wesentlich niedrigere Potentiale zu stande; der Transformator des Empfängers bedarf deshalb auch keiner Ölisolierung und der Kondensator kann aus einer Anzahl durch dünne isolierende Scheiben voneinander getrennter leitender Platten bestehen; seine Dimensionen sind daher,

n seine Kapazität nicht sehr von derjenigen des Kondenim Sender abweicht, bedeutend kleiner als die des letzteren. 15 zeigt die beiden Apparate. Die Wellenlänge beträgt eter.

er Kohärer besteht aus Stahlpulver zwischen Elektroden aus leichen Material. Wie wir an anderer Stelle sahen, ist ein er Grad von Magnetismus der Empfindlichkeit des Kohärers lich, ohne seine Zuverlässigkeit sehr zu beeinträchtigen. Eine ektroden ist darum nach aufsen verlängert und befindet sich en den Polen eines permanenten Magneten; durch Verung dieses letzteren kann man der Elektrode den einen oder

Fig. 215.



en Pol nähern oder dieselbe in eine symmetrische Lage en, in welcher die entgegengesetzten Wirkungen der beiden sich aufheben. Die zu diesem Zwecke dienende Vorrichtung ist ordergrunde der Fig. 216 (a. f. S.) links von der Kohärerröhre bar; unter dieser letzteren erblickt man den Klöppel, welcher lbe erschüttert, sowie das Relais, welches den Lokalstromkreis efst; in diesen ist ein Morseschreiber eingeschaltet.

Nach vorbereitenden Versuchen in Strafsburg wurde das gederte System vom Sommer 1899 bis zum Herbst 1900 einer tischen Prüfung unterzogen. Die Versuche des Jahres 1899 en in Cuxhaven statt; für die weiteren Versuche wurden in Nähe der Elbemündung Stationen geschaffen, die teils undernder, teils mit einer auf Helgoland errichteten Station in Verlung treten sollten. Schlechtes Wetter und Hindernisse beim nsport der Apparate nach den Aufsenstationen erschwerten die bereitungen aufserordentlich. Trotzdem wurden schon zu Ende Jahres 1899 nicht allein zwischen den festländischen Stationen

und der Insel Helgoland wichtige Ergebnisse gewonnen, sondern es wurde auch mit mehreren auf der Fahrt begriffenen Schiffen eine gute Verständigung erzielt. Im Winter 1899 wurden zwischen einer festländischen Station, deren Antenne 29 m hoch war, und dem Dampfer Silvana, der den Verkehr zwischen dem Festlande und Helgoland vermittelte und nur eine 15 m hohe Antenne hatte, bis auf 32 km Entfernung zwischen den beiden Stationen regelmäfsig und ohne Fehler Telegramme ausgetauscht; manchmal wurden sogar bis auf 50 km Entfernung Signale erhalten. Andere

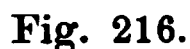
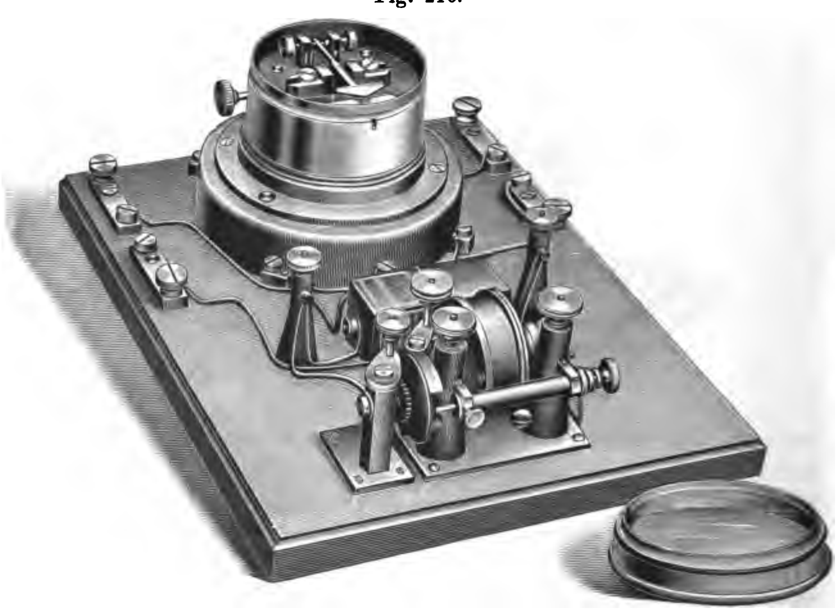


Fig. 216.



Versuche wurden im September 1900 zwischen Helgoland und einer 63 km davon entfernten festländischen Station vorgenommen; die Antennen hatten 29, bezw. 31 m Höhe. Die Resultate waren auch diesmal durchweg gute. Durch vergleichende Versuche wurde ferner die Überlegenheit des geschilderten Systems über die direkte Verbindung der Antenne mit dem wellenerzeugenden Apparat festgestellt. Mit dieser direkten Verbindung reichte nämlich die vorhandene Antennenlänge nicht hin, um zwischen Helgoland und dem Kontinent verständliche Zeichen zu übermitteln; auf kleinere Entfernungen war die Übertragung zwar möglich, aber es

bedurfte dazu wesentlich höherer Antennen als mit dem Braunschen System. Die Schnelligkeit der Zeichenfolge mit den Braunschen Apparaten beträgt ungefähr die Hälfte derjenigen, die ein geübter Telegraphist bei der Übertragung durch Drahtleitung mit dem Morseapparat zu erzielen vermag.

Braun hält sein System für besonders geeignet zur Lösung des Problems der mehrfachen Telegraphie durch Abstimmung zwischen Sende- und Empfangsapparat. Dennoch wurden Versuche über gleichzeitigen Verkehr zwischen mehreren Paaren von Stationen mit Apparaten von verschiedenen Wellenlängen anscheinend nur in sehr beschränktem Umfange vorgenommen. Was ferner die Frage der Geheimhaltung der durch elektrische Wellen übertragenen Depeschen anbelangt, so ist es überaus charakteristisch, dafs die „Gesellschaft für drahtlose Telegraphie“ einen Empfangsapparat herstellt, der zwar keinen Morseschreiber in Tätigkeit setzt, dafür aber nach den Erfindern trotz einer ungemein widerstandsfähigen Konstruktion eine so hohe Empfindlichkeit besitzt, dafs er jeden Versuch einer Abstimmung, soweit dieselbe auf Erhaltung des Depeschengeheimnisses abzielt, zu Schanden machen soll. Die Bestimmung des Apparats ist geradezu, jede beliebige Depesche aufzufangen. Die Signale werden durch ein Telephon aufgenommen; und da die Höhe der Töne, welche dasselbe von sich gibt, der Frequenz entspricht, mit welcher der Unterbrecher des Sendeapparats funktioniert, so kann man sogar mehrere gleichzeitig anlangende Depeschen, die von Apparaten mit Unterbrechern von verschiedener Periode herrühren, voneinander unterscheiden. Es genügt zu diesem Zwecke, vor dem Telephon eine Anzahl von akustischen Resonatoren aufzustellen; jeder von ihnen läfst nur denjenigen Ton hören, auf welchen er abgestimmt ist, und es kann nicht schwer fallen, unter einer genügenden Menge von Resonatoren diejenigen ausfindig zu machen, deren Töne der Frequenz der Unterbrecher an den verschiedenen gleichzeitig funktionierenden Sendestationen entsprechen. Bedingung hierfür ist lediglich, dafs keine dieser Frequenzen aufserhalb des Intervalls der hörbaren Töne liegt.

Der Apparat ist in Fig. 217 (a. f. S.) abgebildet. Den wichtigsten Bestandteil desselben bildet ein Kohärer von besonderer Art, dessen Empfindlichkeit derjenigen des gewöhnlichen Kohärers um das Dreifache überlegen sein soll. Derselbe gehört zu den Radiokonduktoren mit einfachem Kontakt; auf einem Stahlplättchen,

welches am Ende einer Stahlfeder befestigt ist, ruht eine Kohle- oder Stahlspitze, die vermittelst einer Mikrometerschraube vor- und rückwärts bewegt werden kann. Der empfindliche Kontakt wird von dem Strom eines Trockenelements durchflossen, und wenn die elektromotorische Kraft des letzteren nicht zu hoch ist, darf der Druck an der Kontaktstelle ziemlich grofs sein, ohne dafs der

Fig. 217.



Apparat seine Empfindlichkeit gegenüber den elektrischen Wellen einbüfst, während er auf diese Weise gegen Störungen durch mechanische Erschütterungen weniger empfindlich wird. Eine besondere Vorrichtung läfst diesen Druck nach Willkür regulieren. Die übrigen Teile des Apparats sind ohne weitere Erläuterung aus der Abbildung verständlich.

58. Marconis System der abgestimmten Telegraphie [12]).

Gleich den anderen Erfindern, die sich mit dem Problem der drahtlosen Telegraphie beschäftigten, hat auch Marconi sein System zu verbessern gesucht, um es für die gleichzeitige Übertragung mehrerer Depeschen zwischen denselben Stationen geeignet zu machen. In einem Vortrage, den er am 15. Mai 1901 vor der Londoner „Society of Arts“ hielt, nimmt Marconi die Priorität dieser Verbesserungen sogar für sich in Anspruch. Er gründet

diesen Anspruch auf den Zeitpunkt gewisser, später zu beschreibender Versuche und auf das Datum der Patente, die er und andere Erfinder in England erworben hatten. In unserer Darstellung haben wir indessen dem System Braun den Vortritt gegeben, weil, wie wir später noch zeigen werden und wie auch aus den Anmerkungen am Schlusse dieses Kapitels ersichtlich ist, die deutschen Patente, welche sich auf dieses System beziehen, den analogen englischen Patenten Marconis in der Zeit voraus sind. Das schliefst natürlich nicht aus, dafs Marconi und die „Wireless Telegraph and Signal Company" die Frage ganz unabhängig von anderen studiert haben. Immerhin können wir uns in der Beschreibung der Apparate des Marconischen Systems kürzer fassen, da dieselben teilweise denjenigen des Braunschen ähnlich sind, zum Teil auch schon von Marconi selbst für Zwecke der einfachen Telegraphie mit nur einem Sende- und Empfangsapparat eingeführt wurden und darum im vorigen Kapitel bereits beschrieben sind.

Vom „jigger" Marconis, jenem eigenartigen Transformator, der auf den Stationen der „Wireless Telegraph and Signal Company" einen Bestandteil des Empfangsapparats bildet, ist bereits die Rede gewesen. Eine der Wickelungen dieses Transformators wird zwischen die Antenne des Empfangsapparats und die Erdverbindung eingeschaltet, die andere ist mit dem Kohärer, seiner Batterie und dem Relais zu einem von dem ersteren völlig getrennten Stromkreis vereinigt. Die beste Wirkung wird offenbar erhalten, wenn die beiden Stromkreise auf die gleiche Schwingungszahl abgestimmt sind und wenn diese mit der Periode der vom Sendeapparat ausgegebenen Wellen zusammenfällt. Ist die erstere Bedingung erfüllt, so wird der Empfänger auf Wellen, deren Periode von der seinigen bedeutend abweicht, schlecht oder gar nicht ansprechen; zur Aufnahme dieser Wellen eignet sich nur ein Empfänger, der möglichst genau auf ihre Frequenz abgestimmt ist. Auf dieses Mittel der Abstimmung gründete Marconi seine ersten Versuche einer gleichzeitigen und unabhängigen Telegraphie zwischen mehreren Paaren von Stationen; wie er mitteilt, haben diesbezügliche Proben zu günstigen Ergebnissen geführt. In Poole, auf der Insel Wight, wurden zwei Empfangsapparate installiert; von den beiden Sendestationen befand sich die eine 50 km weit entfernt in St. Catherine, die andere auf einem Schiffe, das 16 km von der Sendestation vor Anker lag. Der erforderliche Unterschied

zwischen den Schwingungsperioden der von den zwei Stationen ausgegebenen Wellen wurde lediglich dadurch gewonnen, dafs die entferntere Station eine 45 m lange, die nähere eine 27 m lange Antenne erhielt. Die Anordnung der Sendeapparate war ganz die einfache, wie wir sie in früheren Kapiteln kennen gelernt haben: von den Polkugeln eines Ruhmkorffschen Induktors war die eine mit der Antenne, die andere mit der Erde verbunden.

Es zeigte sich aber bald, dafs diese Anordnung dem beabsichtigten Zwecke nur unvollkommen entsprach. Die von derselben erzeugten Wellen sind nämlich, wie schon mehrfach hervorgehoben wurde, stark gedämpft und verhalten sich deshalb kaum verschieden von gesonderten Impulsen ohne andere Periode als diejenige des Unterbrechers, der den Induktionsapparat in Tätigkeit setzt. Für einen auf Wellen von bestimmter Periode eingerichteten Empfänger kommt aber jene Periode überhaupt nicht in Betracht und die von der geschilderten einfachen Anordnung ausgegebenen Wellen müssen daher beinahe unterschiedslos auf jeden Empfangsapparat einwirken, auch wenn die Sendeapparate, von denen sie herrühren, mit Antennen von sehr verschiedener Länge ausgerüstet sind. Selbst bei einem so beträchtlichen Unterschied, wie er bei den Versuchen auf der Insel Wight zwischen den Antennen der beiden Sendeapparate bestand, vermochte die Empfangsstation die ankommenden Depeschen nicht mehr voneinander zu trennen, wenn die beiden Sendestationen sich in gleicher Entfernung von ihr befanden.

Eine richtige Lösung des Problems konnte also nur gefunden werden, wenn es möglich wurde, die Dämpfung der Schwingungen herabzusetzen. Nach Marconi müfste man z. B., um zu diesem Ziel zu gelangen, die Kapazität des Sendeapparats erhöhen, ohne gleichzeitig sein Strahlungsvermögen oder mit anderen Worten die Anfangsintensität der ausgesandten Wellen in demselben Mafse zu steigern. Marconi will dies bis zu einem gewissen Grade schon erreicht haben, indem er ganz einfach in der Nähe der gewöhnlichen Antenne einen zweiten, mit der Erde verbundenen Draht anbrachte. Man begreift auch leicht, dafs damit der gewünschte Effekt erzielt wurde; die Nähe eines mit der Erde verbundenen Leiters mufs die Kapazität der Antenne erhöhen und zugleich die ganze Anordnung einem geschlossenen Stromkreise ähnlich machen, der bekanntlich nur ein geringes Strahlungsvermögen besitzt. Immerhin aber ergaben sich bessere Resultate mit der in Fig. 218

dargestellten Anordnung. Die gewöhnliche Antenne ist sowohl auf der Sende- wie auf der Empfangsstation durch ein System zweier vertikaler konzentrischer Zylinder A und A_1 aus Zinkblech ersetzt. Der äufsere Zylinder A, der die eigentliche Antenne bildet, steht auf der Sendestation mit einer der beiden Kugeln, zwischen denen die Funken überspringen, auf der Empfangsstation mit einer der Elektroden des Kohärers in Verbindung; von dem inneren Zylinder führt ein Draht zur Erde. Es ist klar, dafs das System dieser beiden Zylinder ebenso gut wie ein einfacher Draht die Aufgaben der Antenne erfüllt; gleichzeitig aber bildet dasselbe einen Kondensator und mufs daher eine ähnliche Rolle spielen, wie die von Braun benutzten Leydener Flaschen. Die geschilderte Anordnung entspricht allerdings nach Marconi ihrem Zweck nur dann, wenn zwischen den Schwingungen, die in den beiden Zylindern der Sendestation vor sich gehen, eine Phasendifferenz besteht, da ohne eine solche die Wirkungen der von beiden Zylindern ausgehenden Schwingungen sich gegenseitig vernichten würden. Zwischen den Oszillator und den isolierten Zylinder ist deshalb eine Selbstinduktion g^3 (Fig. 218) eingeschaltet. Eine ähnliche Vorrichtung findet sich auch beim Empfänger.

Fig. 218.

Früher schon als die „Wireless Telegraph and Signal Company“ hatte auch W. G. Brown[13]) empfohlen, mit den beiden Seiten des Erregers gleiche Leiter zu verbinden; in seinem Patente fehlt aber die nach Marconi unentbehrliche Selbstinduktion zwischen dem einen dieser Leiter und dem Funken.

Nach Marconi fällt es nicht schwer, die Schwingungsperioden der Zylinder des Senders und des Empfängers aufeinander abzustimmen, so dafs dieser letztere, wenn auch eine Reihe von Sendestationen gleichzeitig tätig ist, nur von einer von diesen beeinflufst wird. Mit Zylindern von 7 m Höhe und 1,5 m Durchmesser wurde zwischen den Stationen von Poole und St. Catherine eine gute Verständigung erzielt; die Signale wurden weder von anderen in der Nähe befindlichen Stationen mitempfangen, noch wurde die Verständigung gehindert, wenn gleichzeitig andere Sendeapparate

tätig waren; auch atmosphärische Störungen hatten keinen Einfluſs.

Eine andere Anordnung der „Wireless Telegraph and Signal Company“, welche die Syntonie zwischen Sende- und Empfangsstation bezweckt, ist in Fig. 219 und 220 abgebildet. Dieselbe enthält zwei Vorrichtungen, die wir bereits als wesentliche Be-

Fig. 219.

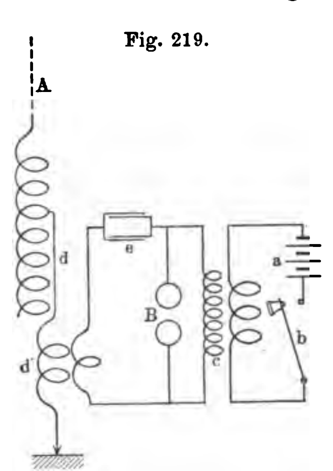
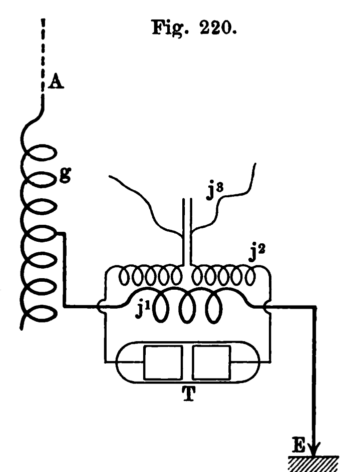
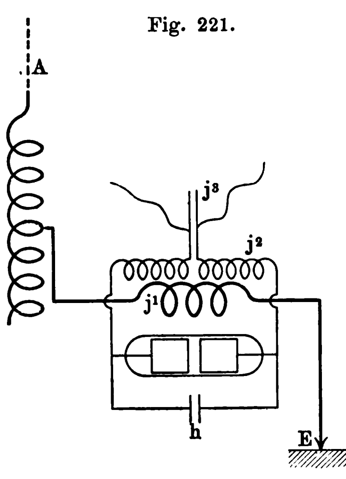


Fig. 220.



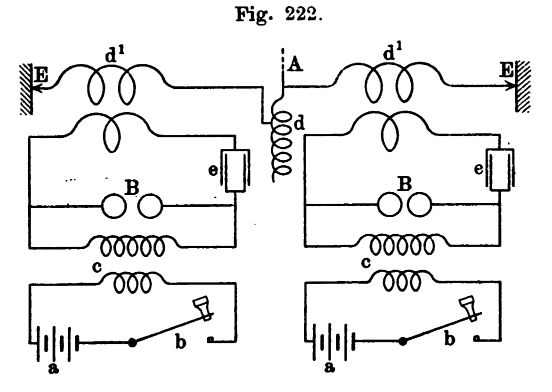
standteile des Braunschen Systems kennen gelernt haben, nämlich den Kondensator *e* im Stromkreis des Oszillators, sowie den Transformator *d'*, dessen eine Wickelung in den Stromkreis des Oszillators und dessen andere Wickelung zwischen die Antenne und die Erde eingeschaltet ist. Die Schwingungen werden der Antenne durch die Induktion zwischen den beiden Wickelungen des Transformators zugeführt. Auf der Empfangsstation (Fig. 220) ist ebenfalls ein Transformator vorhanden; für denselben wurde eine der speziellen Formen beibehalten, die wir nach den früheren Patenten der „Wireless Telegraph and Signal Company“ an anderer Stelle bereits beschrieben haben. In Fig. 221 hat auch die Empfangsstation einen Kondensator *h*, der parallel zum Kohärer geschaltet ist.

Fig. 221.



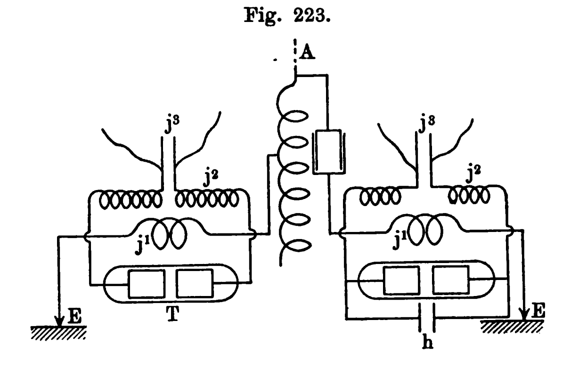
Um gute Wirkungen zu erzielen, ist es von grofser Wichtigkeit, dafs jeder einzelne Teil der Apparate für sich die gleiche Schwingungsperiode besitzt. Zu diesem Zweck schliefst sich an das untere Ende der Antenne, die hier wieder einfach aus einem vertikalen Leiter *A* (Fig. 219) bestel t, eine Drahtspule; die Verbindung mit dem Transformator wird an einer beliebigen Stelle

Fig. 222.



dieser Spule angebracht, und durch die Zahl der Drahtwindungen, die auf solche Weise zwischen die Antenne und den Transformator eingeschaltet sind, läfst sich die Schwingungsdauer innerhalb weiter

Fig. 223.

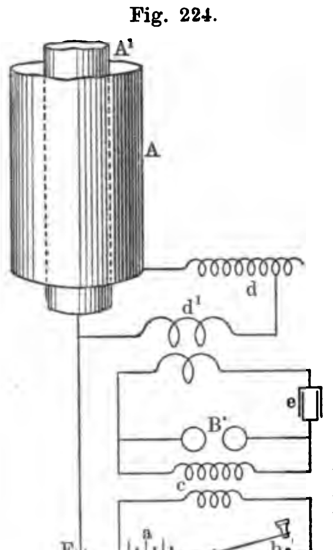


Grenzen verändern. Die gleiche Anordnung befindet sich auch auf der Empfangsstation; sie bildet ein wesentliches Element für die gleichzeitige Telegraphie zwischen zwei Paaren von Sende- und Empfangsapparaten, die, wie in Fig. 222 und 223 zu sehen, lediglich an verschiedene Stellen der Spule oder des Verlängerungsdrahtes angeschlossen zu werden brauchen. Versuche, die Marconi im Herbst 1900 mit dieser Anordnung vornahm, hatten das er-

wartete Ergebnis: zwei Sendeapparate konnten gleichzeitig durch dieselbe Antenne Signale abgeben und diese wurden ohne gegenseitige Störung von zwei ebenfalls an eine gemeinsame Antenne angeschlossenen Empfangsapparaten aufgenommen. Nach Marconi würde ein Sendeapparat, der für eine bestimmte Wellenlänge eingerichtet ist und bis auf 50 km Entfernung Signale zu geben vermag, auf einen Empfänger von wesentlich verschiedener Periode selbst dann nicht einwirken, wenn beide Apparate sich nur in 50 m Abstand voneinander befinden.

Eine weitere Verbesserung ergibt sich endlich nach Marconi durch Verbindung des eben beschriebenen Systems mit der aus zwei Zylindern gebildeten Antenne. Diese Anordnung ist in Fig. 224 dargestellt.

Fig. 224.



Ein System der drahtlosen Telegraphie, welches nach den bis jetzt darüber vorliegenden Mitteilungen sich nur sehr wenig von dem abgestimmten System Marconis unterscheidet, hat Fessenden[14]) für das meteorologische Zentralbureau der Vereinigten Staaten ausgearbeitet. Anstatt einfacher Drähte benutzt auch Fessenden als Antennen zwei konzentrische Zylinder, von welchen der innere mit einer Selbstinduktion verbunden ist; eine Abweichung von Marconis System besteht nur in den Mitteln, welche die Dämpfung der Schwingungen vermindern sollen. Die Theorie zeigt, dafs diese Dämpfung durch das Verhältnis zwischen dem Widerstand und der Selbstinduktion des Stromkreises bedingt ist, in welchem die Schwingungen stattfinden. Um den Betrag dieses Verhältnisses herabzusetzen, sucht Marconi die Selbstinduktion so grofs als möglich zu gestalten; Fessenden strebt aufserdem danach, den Zähler des Bruches, das heifst den Widerstand des Stromkreises, möglichst klein zu machen. Ein weiterer Unterschied der beiden Systeme zeigt sich in dem zwischen die Antenne und den Empfangsapparat eingeschalteten Transformator. Bei der „Wireless Telegraph and Signal Company“ haben beide Wickelungen des Transformators die gleiche Drahtlänge, die, wenn

die Antenne ebenfalls aus einem einfachen Draht besteht, gleich der Länge dieses letzteren ist; Fessenden dagegen gibt der Sekundärwickelung des Transformators, das heifst derjenigen, welche mit dem Empfangsapparat verbunden ist, die doppelte Länge der anderen. Endlich will Fessenden auch die Schwierigkeit überwunden haben, die darin liegt, dafs der Funke, wenn seine Länge eine gewisse Grenze überschreitet, seinen oszillatorischen Charakter verliert. Mit Hilfe einer besonderen Konstruktion des Induktionsapparates will er es erreicht haben, in den Wellen eine 16mal gröfsere Energiemenge auszusenden, als es mit den gewöhnlichen Apparaten möglich ist.

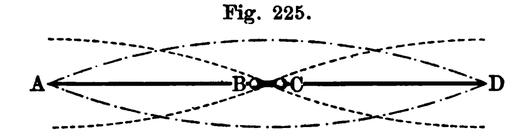
Das meteorologische Zentralbureau der Vereinigten Staaten hat auch ein „unabhängiges" System der gleichzeitigen Telegraphie ausgebildet, welches das Depeschengeheimnis sichern und die gegenseitige Störung gleichzeitig tätiger Apparate ausschliefsen soll. Über das Verfahren und die Einrichtungen, womit dieser Fortschritt angeblich erreicht wurde, ist nichts Sicheres bekannt.

59. Das System Slaby-Arco[15]).

Das von Slaby und Arco erfundene und von der „Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft" in die Praxis eingeführte System der mehrfachen Telegraphie beruht auf den folgenden Tatsachen.

Werden in einem geradlinigen Oszillator AD (Fig. 225), der in der Mitte durch eine kurze Funkenstrecke zwischen den Kugeln B und C unterbrochen ist, stationäre elektrische Schwingungen

Fig. 225.



erzeugt, so beträgt deren Wellenlänge, wie in § 32 gezeigt worden, das Doppelte der Gesamtlänge AD des Oszillators. Von den Schwingungen von höherer Ordnung, die daneben auftreten können und deren Wellenlänge $^1/_3$, $^1/_5$ u. s. w. der Wellenlänge der Fundamentalschwingung beträgt, wollen wir absehen, da sie nur eine geringe Amplitude erreichen. Für die veränderlichen Werte des Potentials bestehen an den Enden A und D des Oszillators Schwingungsbäuche, das heifst das Potential schwankt an diesen Stellen zwischen Maximalwerten von entgegengesetztem Vorzeichen; in der Mitte des Oszillators hat das Potential einen Knoten und

bewahrt also an dieser Stelle einen ganz oder nahezu konstanten Wert, der im allgemeinen gleich Null ist. Die extremen Werte, zwischen denen das Potential an jeder Stelle des Oszillators hin und her schwankt, sind in Fig. 225 durch die kurzgestrichelten Kurven kenntlich gemacht, deren Ordinaten an jeder Stelle den betreffenden Werten entsprechen. Dagegen unterliegt die Intensität des oszillatorischen Stromes, der den Leiter *AD* durchfliefst, gerade in der Mitte bei *BC* den stärksten Schwankungen; hier liegt also für die Stromstärke ein Schwingungsbauch, an den Enden *A* und *D* liegen Knoten, wie dies in der Abbildung durch die aus abwechselnden Strichen und Punkten gebildeten Kurven angedeutet ist. In § 32 wurde ferner gezeigt, dafs diese Verhältnisse sich nicht wesentlich ändern, wenn man die eine Hälfte des Oszillators, z. B. *CD*, beseitigt und nur die Kugel *C* übrig läfst, die man mit der Erde verbindet. Man gelangt dadurch zur einfachsten Form des Oszillators mit Antenne.

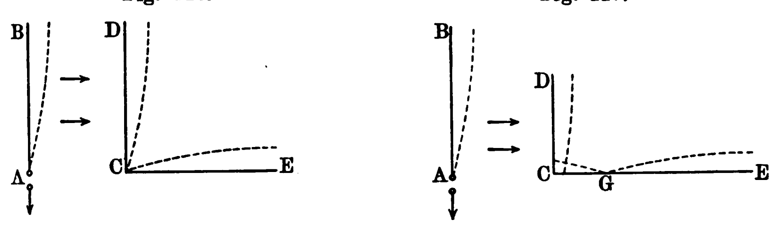
Wird nun irgendwo parallel zu dem Oszillator eine Auffangeantenne angebracht, mit anderen Worten ein vertikaler, gleich dem ersten mit der Erde verbundener Draht von derselben Länge wie dieser, so rufen die von dem Oszillator ausgesandten Wellen durch Resonanz in der zweiten Antenne identische Schwingungen hervor; auch in dieser gehen die stärksten Schwankungen des Potentials am freien Ende vor sich, die geringsten finden an dem mit der Erde verbundenen Ende statt. Wie wir im 3. Kapitel des zweiten Teiles sahen, wird der Kohärer nicht durch eine bestimmte Stromstärke, sondern durch Änderungen des Potentials beeinflufst; trotzdem pflegt man denselben, wenn die geschilderte Anordnung zur drahtlosen Telegraphie dienen soll, mit dem unteren Ende der Antenne zu verbinden, wo die Schwankungen der Stromstärke am gröfsten, diejenigen des Potentials dagegen ganz oder nahezu gleich Null sind. Nach Slaby ist deshalb die übliche Anordnung im Prinzip verfehlt; dafs man mit derselben trotzdem praktische Ergebnisse erzielt, liegt nach Slaby an der aufserordentlichen Empfindlichkeit des Kohärers und an dem Umstande, dafs derselbe in Wirklichkeit doch nicht genau an die Knotenstelle angeschlossen wird. In der Praxis wäre es allerdings auch nicht möglich, den Kohärer mit seinen Hilfsapparaten an der Spitze der Antenne anzubringen.

Die Verhältnisse ändern sich jedoch nach Slaby vollkommen, wenn man an das untere Ende *C* der Auffangeantenne *CD* (Fig. 226 a. f. S.)

einen zweiten Draht *CE* von gleicher Länge wie *CD* anschliefst, der horizontal ausgespannt und darum der direkten Einwirkung seitens der Sendeantenne *AB* entzogen ist. In diesem Falle gehen die elektrischen Schwingungen von *CD* auch auf *CE* über, und während der Knoten in *C* bestehen bleibt, bildet sich am Ende *E* ein neuer Bauch, an dem das Potential ebenso starken Schwankungen unterliegt wie in *D*. Die Amplituden der Potentialschwankungen an den verschiedenen Stellen der Sende- und der Auffangeantenne, sowie des Verlängerungsdrahtes sind in der Abbildung durch die gestrichelten Kurven veranschaulicht. Der Kernpunkt des Slabyschen Systems liegt nun darin, dafs der Kohärer an das Ende *E* der sekundären Antenne *CE* angeschlossen wird. Diese braucht dabei nicht, wie wir vorausgesetzt hatten und wie es in der Figur der Einfachheit halber dargestellt wurde, geradlinig ausgespannt zu sein, sondern sie kann ebenso gut durch eine Spule mit gleicher Drahtlänge ersetzt werden.

Ist die auffangende Antenne *CD* (Fig. 227) weniger lang als

Fig. 226. Fig. 227.



diejenige des Senders, so wird dadurch nach Slaby der Effekt nicht beeinträchtigt, wofern die Gesamtlänge der Antenne und ihrer horizontalen Fortsetzung unverändert bleibt, das heifst wenn dieselbe doppelt so lang wie die Sendeantenne, mit anderen Worten, gleich einer ganzen Wellenlänge ist. Auch dann noch befindet sich an den Enden *D* und *E* je ein Schwingungsbauch des Potentials; der Knoten gelangt, anstatt in *C*, an der auf halber Länge zwischen *D* und *E* gelegenen Stelle *G* zur Ausbildung. Nach neueren, von Slaby selbst ausgeführten Untersuchungen scheint es allerdings, dafs die elektrische Schwingung längs des Drahtes ein weniger einfaches Gesetz befolgt, als hier angenommen wurde; immer aber bilden sich an den freien Enden Schwingungsbäuche, zwischen denen ein oder mehrere Knoten liegen. Die Verbindung mit der Erde an der Stelle *C* bringt zwar in dem durch die Abbildung dargestellten Falle keinen Vorteil, aber sie

setzt auch die Intensität des Bauches in E nicht merklich herab. Als Antenne für die drahtlose Telegraphie läßt sich danach jeder vorhandene vertikale Leiter, etwa ein Blitzableiter, benutzen, auch wenn derselbe nicht die bei der ursprünglichen Anordnung für notwendig gehaltene Länge besitzt. Nach Slaby wird dadurch ferner das Problem der mehrfachen drahtlosen Telegraphie gelöst. Verbindet man z. B. mit dem unteren Ende eines 40 m hohen Blitzableiters zwei horizontale Drähte, von denen der eine 40, der andere 60 m lang ist, oder zwei Spulen mit den entsprechenden Drahtlängen, so können sich durch Resonanz in dem ersten Draht Schwingungen von 40 + 40, d. h. von 80 m halber Wellenlänge bilden, die an dem mit der Erde verbundenen unteren Ende des Blitzableiters einen Knoten haben; der andere Draht dagegen wird auf Schwingungen von 40 + 60, d. h. von 100 m halber Wellenlänge ansprechen, obschon für dieselben die Erdverbindung nicht genau mit einem Knotenpunkte zusammenfällt. Werden an die Enden dieser Spulen oder horizontalen Verlängerungsdrähte zwei Kohärer angeschlossen, so kann jeder von ihnen nur auf Wellen reagieren, deren Periode der Gesamtlänge des Blitzableiters und der zugehörigen Verlängerung entspricht. Zwei Sendeapparate, deren Oszillatoren auf die betreffenden Schwingungsperioden abgestimmt sind, können somit gleichzeitig ihre Depeschen einer einzigen Empfangsstation zusenden, falls diese in der geschilderten Weise mit zwei an eine gemeinsame Antenne angeschlossenen Verlängerungsdrähten von verschiedener Länge und mit den zugehörigen Empfangsapparaten ausgerüstet ist; die beiden Depeschen können einander gegenseitig nicht stören, da jede von ihnen nur von dem einen, auf die betreffende Wellenlänge abgestimmten Apparate aufgenommen wird. In der Tat konnte Slaby während eines Vortrages über vielfache Telegraphie am 22. Dezember 1900 mit Hilfe von zwei Empfängern, die gemeinsam an den Blitzableiter eines Fabrikschornsteins angeschlossen waren, gleichzeitig, und mit einer Geschwindigkeit von 72 Worten in der Minute, zwei Depeschen aufnehmen, von denen die eine von einer 4 km, die andere von einer 14 km weit von dem Hörsaale entfernten Sendestation aufgegeben war. Dieses Resultat verdient auch deshalb hervorgehoben zu werden, weil hier zum ersten Male eine mehrfache Verbindung mittels elektrischer Wellen von verschiedener Periode öffentlich vorgeführt wurde.

Abgesehen von den Vorteilen der mehrfachen Verbindung

bietet der Verlängerungsdraht nach Slaby die Möglichkeit, die Wirkung der Wellen erheblich zu verstärken. Wir wollen uns, wie dies in Fig. 228 dargestellt ist, anstatt der einfachen Auffangeantenne zwei einander sehr nahe vertikale Drähte *CD* und *GH* denken, die mit horizontalen Verlängerungen *CE*, bezw. *GF*, versehen und an den oberen Enden *D* und *H* miteinander verbunden sein sollen. Die beiden Drähte werden durch den Oszillator genau in der gleichen Weise beeinflufst; ihre Enden *F* und *E* befinden sich daher in jedem Augenblick in gleichem Schwingungszustand und zwischen denselben springt, auch wenn man sie einander noch so nahe bringt, kein Funke über. Schliefst man aber an das Ende *E* einen anderen Draht *EJ* an, dessen Länge die halbe Wellenlänge beträgt, der aber beliebig gebogen sein kann, so befinden sich das Ende *J* dieses Drahtes und das Ende *F* des anderen

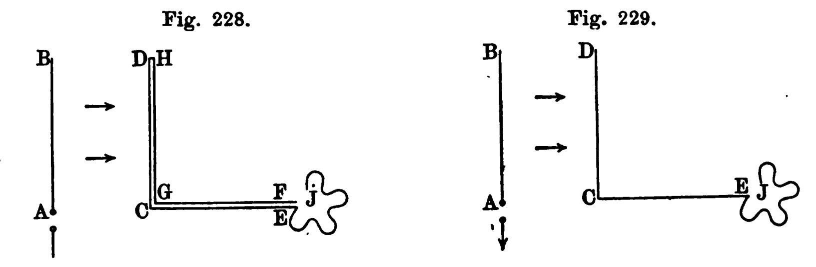


Fig. 228. Fig. 229.

in jedem Augenblick in entgegengesetzten Zuständen oder, wie der Ausdruck lautet, in entgegengesetzten Schwingungsphasen. Zwischen *F* und *J* besteht darum eine doppelt so grofse elektromotorische Kraft wie zwischen *F* oder *E* und der Erde; ein Kohärer, den man zwischen *J* und *F* einschaltet, mufs demnach auch eine doppelt so starke Einwirkung erfahren. Dabei wird jede Verbindung mit der Erde durch diese Anordnung überflüssig und der Kohärer wird nach Slaby der störenden Einwirkung in der Atmosphäre vorhandener elektrischer Ladungen entzogen. Wie Graf Arco beobachtete, läfst sich die geschilderte Anordnung sogar noch weiter vereinfachen. Offenbar kann nämlich der Draht *DCE* der Fig. 228 mit Bezug auf die Verlängerung *EJ* auch die Rolle des parallelen Drahtes *HGF* übernehmen; dieser letztere wird also vollkommen entbehrlich und man gelangt zu der in Fig. 229 dargestellten vereinfachten Anordnung, mit der Graf Arco Signale aufnahm, ohne dafs irgend eine Stelle des Apparats mit der Erde in Verbindung stand. Die früher allgemeine Auffassung

von der Notwendigkeit einer Erdverbindung im Empfangsapparat ist damit widerlegt.

Durch Zufall geriet Slaby auf eine weitere Verbesserung. Als er eines Tages den Draht EJ, um ihn bequemer handhaben zu können, zu einer Spule aufrollte, fiel es ihm auf, dafs dadurch die auf den Kohärer einwirkende elektromotorische Kraft ganz aufserordentlich verstärkt wurde. Slaby meinte damals, eine neuartige Wirkung beobachtet zu haben; andere dagegen erblickten in der Spule, der Slaby den Namen Multiplikator gab, nur ein Analogon zu den sogenannten Autotransformatoren oder Transformatoren mit einfachem Stromkreis, die schon seit einigen Jahren bekannt sind. Tatsächlich war der Multiplikator, wie sich später herausstellte und wie Slaby selbst anerkannte, schon vorher von Oudin in Frankreich zu therapeutischen Zwecken benutzt worden. Auf alle Fälle aber handelt es sich um einen eigenartigen Vorgang, der von der Gestalt der Wickelung des Apparats abhängt und die Wirkung auf den Kohärer und damit die Sicherheit und Tragweite der Signalgebung erhöht; dabei widersetzt sich der geschilderte Apparat dem Durchgange von Wellen, für die er nicht abgestimmt ist und trägt somit ebenfalls zur Sicherung der Syntonie zwischen Sender und Empfänger bei.

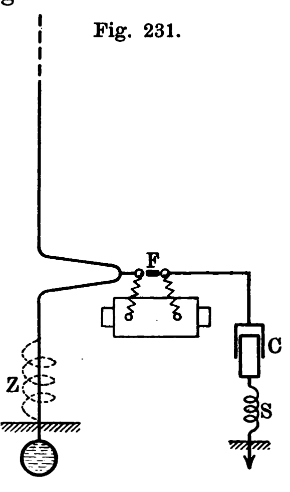
Fig. 230.

Natürlich ist es dazu erforderlich, dafs auch der Sender nur Wellen von einer möglichst genau begrenzten Periode ausgibt. Die erste Anordnung, die Slaby zu diesem Zwecke benutzte, ist in Fig. 230 abgebildet. Das obere Ende C der Antenne ist durch Vermittelung einer Spule CD mit starker Selbstinduktion mit einem zweiten, zur Erde abgeleiteten Vertikaldraht DE verbunden; zwischen das untere Ende der Antenne und das Funkenintervall AB ist ein Kondensator K eingeschaltet, der den doppelten Zweck erfüllt, die für eine Entladung verfügbare Elektrizitätsmenge zu steigern und zugleich die Schwingungsdauer zu erhöhen; ohne den Kondensator würde die letztere nur von der Länge der Antenne abhängen, für die im allgemeinen ziemlich enge Grenzen bestehen. Während der Ladung des Kondensators, die sich durch einen verhältnismäfsig langsam veränderlichen Strom vollzieht, erhält die eine Belegung desselben die erforderliche Verbindung mit der Erde durch die Spule CD; die bei der Entladung auftretenden schnellen Schwingungen werden dagegen von der Spule nicht

durchgelassen. Nach Slaby werden deshalb die Wellen ausschliefslich von dem Draht *CK* ausgestrahlt und ihre Periode wird nur durch diesen und die Kapazität des Kondensators bestimmt.

Später hat indessen auch Slaby den doppelten Luftdraht wieder verlassen und ist zu der einfachen Antenne zurückgekehrt. Eine derartige Anordnung ist in Fig. 231 dargestellt. Die Antenne ist direkt mit der Erde verbunden; in der Nähe der letzteren bildet sie eine Schleife, an welche eine der Kugeln des Oszillators *F* angeschlossen ist; von der zweiten Kugel führt ein Draht zur einen Belegung eines Kondensators *C*, dessen andere Belegung durch eine Selbstinduktion *S* mit der Erde in Verbindung steht. Im einfachsten Falle bilden sich in der Antenne Schwingungen aus, deren Wellenlänge das Vierfache der Länge der Antenne beträgt. Will man langsamere Schwingungen, oder, was dasselbe bedeutet, längere Wellen erhalten, so wird zwischen die Antenne und ihre Erdverbindung eine Selbstinduktion *Z* eingeschaltet, welche die Schwingungsperiode oder die Wellenlänge um den gewünschten Betrag erhöht. Nur müssen in diesem Falle, wenn man möglichst starke Wirkungen erzielen will, auch die Schwingungen, die in den übrigen Teilen des Schwingungskreises zwischen der zweiten Kugel des Oszillators und der Erde zu stande kommen, auf die gleiche Periode wie die ersten abgestimmt werden. Zu diesem Zwecke ist die schon erwähnte Einrichtung getroffen, dafs die Zahl der in den Schwingungskreis eingeschalteten Windungen der Spule *S* oder der Abstand zwischen denselben und damit die Selbstinduktion der Spule innerhalb gewisser Grenzen verändert und der jeweilige Betrag dieser Gröfse auf dem Apparat abgelesen werden kann. Einfacher noch läfst sich die Kapazität des Kondensators regulieren; derselbe wird nämlich aus einer mehr oder minder grofsen Zahl von Leydener Flaschen zusammengestellt, die, wie Fig. 232 (a. f. S.) zeigt, aufsen durch eine gemeinsame Stanniolhülle miteinander verbunden sind. Oberhalb des Kondensators befindet sich bei den Apparaten der „Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft" der Oszillator, dessen Kugeln übereinander angeordnet und von

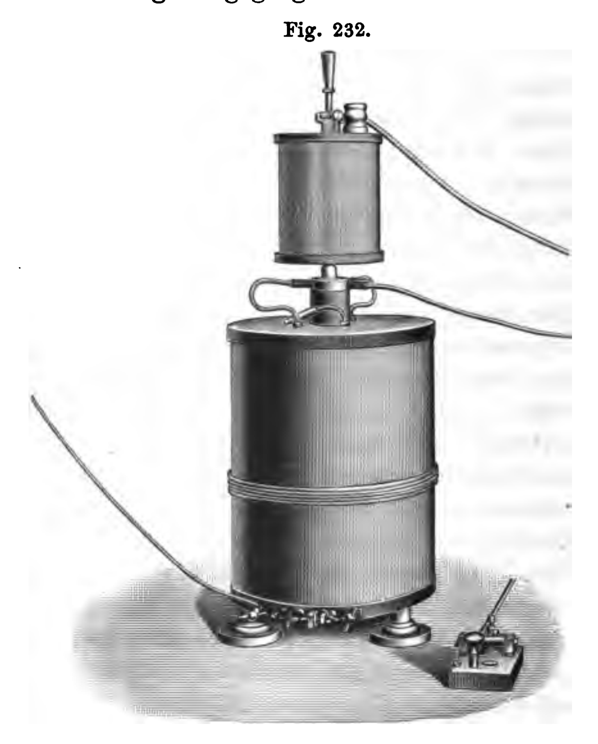
Fig. 231.



einer in Fig. 232 sichtbaren isolierenden Hülle eingeschlossen sind, um das Geräusch der Funken abzuschwächen.

Übrigens scheint auch die in Fig. 231 dargestellte Anordnung nicht allen Anforderungen entsprochen zu haben; neuerdings soll die „Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft“ zu der in Fig. 233 (a. f. S.) skizzierten Anordnung übergegangen sein. Diese umfafst zwei Kon-

Fig. 232.

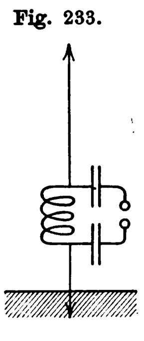


densatoren, die symmetrisch zu beiden Seiten des Funkens aufgestellt und durch eine Selbstinduktion miteinander verbunden sind; von einer Stelle dieser Verbindung geht die Antenne, von einer symmetrisch dazu gelegenen Stelle der Erddraht aus. Wie man sieht, unterscheidet sich diese Anordnung nicht wesentlich von einem der Braunschen Sendertypen.

Bei einer anderen Anordnung der „Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft“ ist der Oszillator, anstatt wie in Fig. 231 zwischen den Kondensator C und die Antenne, zwischen die Selbstinduktion S und die Erde geschaltet. Für Installationen auf Kriegsschiffen ist freilich weder diese noch die vorige Anordnung recht geeignet,

weil die Apparate sich an geschützter Stelle befinden müssen und es sehr schwer fallen würde, von hier aus bis zur Antenne einen Draht zu führen, dessen Isolierung für Ströme von hohem Potential genügen würde. Die Verbindungen werden deshalb in der in Fig. 234 skizzierten Weise getroffen. Im Innern des Schiffes befindet sich der Oszillator F_1 samt einem Kondensator K von veränderlicher Kapazität und einer ebenfalls veränderlichen Selbstinduktion S_1. Der Oszillator erzeugt kein sehr hohes Potential und zur Verbindung desselben mit den auf der Kommandobrücke aufgestellten Teilen des Apparats kann deshalb ein nach Art der gewöhnlichen elektrischen Leitungen mit Guttapercha isolierter Kupferdraht dienen. Dieser führt zur Multiplikatorspule F_3, innerhalb deren sich zwei Kugeln befinden, von denen die eine mit der Erde, die andere mit der Antenne verbunden ist. Dieser Multiplikator soll das Potential dermafsen steigern, dafs zwischen den erwähnten Kugeln bis auf 15 oder 20 cm Funken überspringen, während die Schlagweite zwischen den Kugeln des Oszillators F_1 nur ebenso viele Millimeter beträgt.

Fig. 233.



Der Empfänger kann ganz ähnlich angeordnet werden wie der Sender. Fig. 235 zeigt eine der von der „Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft“ benutzten Schaltungen, die sich kaum von der

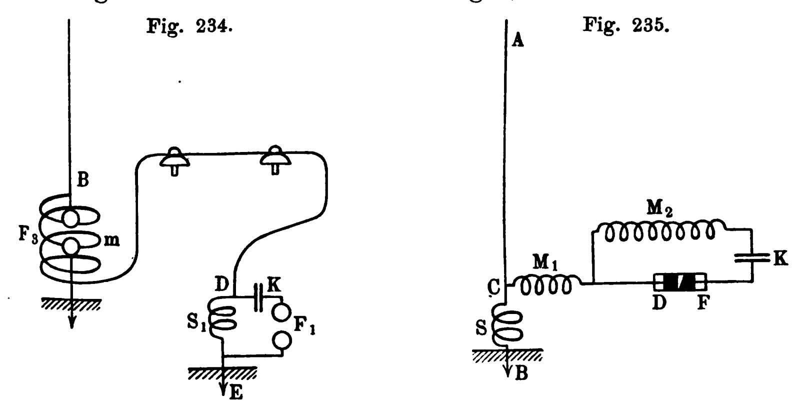
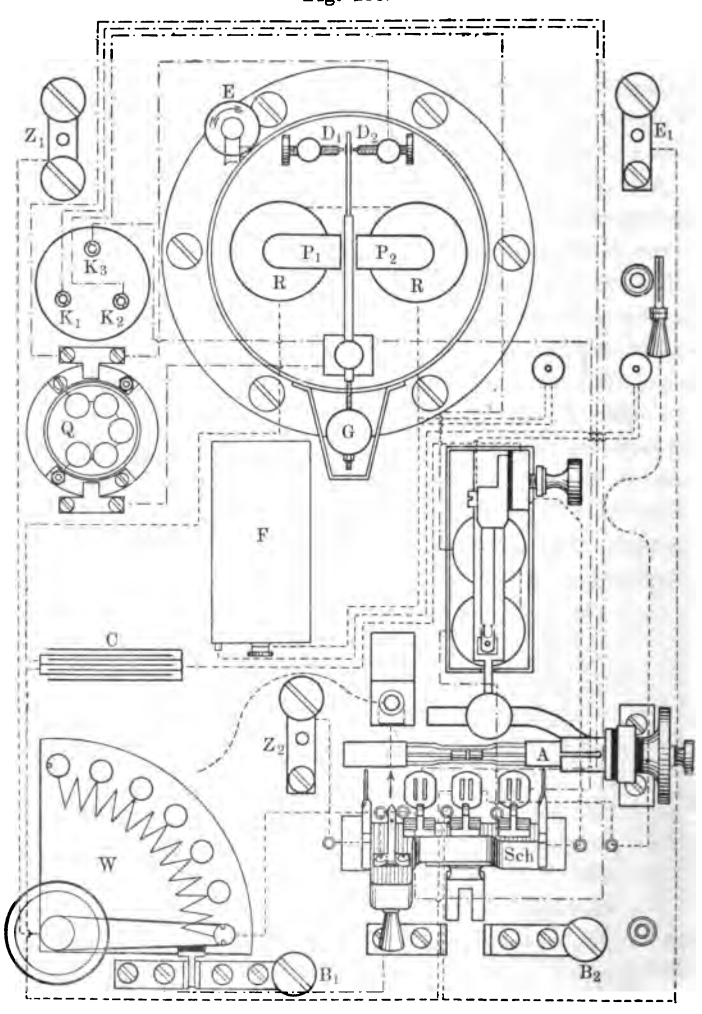


Fig. 234. Fig. 235.

in Fig. 234 abgebildeten unterscheidet; man braucht sich in dieser nur den Oszillator F durch den Kohärer ersetzt zu denken. Dieser letztere ist natürlich in den Stromkreis eines galvanischen Elements von niedriger elektromotorischer Kraft und eines Relais einge-

schaltet, welches in der schon öfter beschriebenen Weise den Telegraphenempfänger und den Hammer in Bewegung setzt. Fig. 236 gewährt einen Überblick über die verschiedenen Organe einer Empfangsstation. *A* ist der Kohärer, der zur Regulierung

Fig. 236.



der Empfindlichkeit um seine Achse drehbar ist; *F* ist ein Trockenelement, in dessen Stromkreis der Kohärer und der Elektromagnet des Relais *R R* eingeschaltet sind. Um den Extrastrom aufzunehmen, der bei der Unterbrechung des Relaisstromkreises entstehen und

auf den Kohärer einwirken könnte, sind die Klemmschrauben des Relais mit den Belegungen eines Kondensators *C* verbunden, der aus Stanniol mit Zwischenlagen von Glimmer hergestellt ist. Die Erschütterung des Kohärers besorgt der Hammer *U*; ein veränderlicher Widerstand *W* hat die Aufgabe, die Wirkung auf den Kohärer abzuschwächen, wenn Depeschen aus geringer Entfernung aufgenommen werden sollen. Das Relais setzt aufser dem Hammer *U* auch die Alarmklingel und einen Morseempfänger in Tätigkeit; diese Teile des Apparats sind, ebenso wie die vier Trockenelemente, welche ihnen den Strom liefern, in der Figur nicht abgebildet. Wenn die Klingel und der Morseapparat nicht funktionieren, geht der Strom der vier Elemente durch eine Reihe von polarisierbaren Widerständen *Q*, die einer nutzlosen Schwächung der Batterie vorbeugen, zugleich aber auch so angeordnet sind, dafs sie die Extraströme aufnehmen, welche bei der Unterbrechung der vom Relais bedienten Stromkreise entstehen; das Auftreten von Funken an den Kontakten des Relais wird dadurch verhindert.

60. Schlufsbetrachtung.

In den vorstehenden Paragraphen wurden die Systeme der abgestimmten Telegraphie von Braun, Marconi und Slaby-Arco, die bisher allein eine ausgedehntere praktische Verwendung gefunden haben, eingehend beschrieben; sie gleichen einander in mehrfacher Beziehung und haben manche Punkte miteinander völlig gemein. Dies kann nicht überraschen, wenn man bedenkt, dafs alle diese Systeme aus einer logischen Anwendung der Gesetze der elektrischen Schwingungen auf die von Marconi geschaffene Methode der einfachen drahtlosen Telegraphie hervorgegangen sind. Daraus ergibt sich ohne weiteres, dafs diese Systeme, so verschieden sie auch in vielen Einzelheiten, in ihren eigenartigen Vorzügen und Mängeln sein mögen, doch alle der Lösung des Problems der Syntonie ungefähr gleich nahe kommen. Vielleicht ist das ideale Ziel überhaupt unerreichbar; jedenfalls ist die vollständige Lösung des Problems noch keinem der Erfinder gelungen. In diesem Punkte ist nur eine Auffassung möglich. Ungleich schwieriger ist es, über die Originalität der verschiedenen Systeme, die in so kurzen Zeitabständen vor die Öffentlichkeit getreten sind, ein Urteil abzugeben. Es ist sehr wohl möglich, dafs jedes von ihnen, eben weil sie alle auf den gleichen wissenschaftlichen Gesetzen beruhen, aus dem Geiste seines Erfinders hervorgegangen ist, ohne dafs

dieser von der gleichzeitigen Tätigkeit seiner Mitbewerber Kenntnis hatte; dies kann um so eher der Fall sein, als ja die Patentbeschreibungen in der Regel erst geraume Zeit nach der Anmeldung der Patente publiziert werden. In unserer Darstellung hat das System Braun den Vortritt erhalten. Folgende Erwägungen waren dafür maſsgebend.

Braun hat als erster in seinen Veröffentlichungen die wissenschaftlichen Grundlagen der abgestimmten Telegraphie entwickelt; seine Versuche begannen im Sommer 1898 und die Hauptpunkte seines Systems finden sich bereits in der Beschreibung seines am 14. Oktober 1898 angemeldeten deutschen Patents, während zu jener Zeit weder Slaby, noch auch, wie wir alsbald erfahren werden, Marconi ihre Systeme bis zu einem den Anforderungen der Syntonie entsprechenden Grade ausgebildet hatten. Schon einige Zeit vor Braun hatte allerdings Tietz[16]) bei Gelegenheit einer Untersuchung über das Problem der Abstimmung in der drahtlosen Telegraphie darauf hingewiesen, welchen Vorteil man erhält, wenn man parallel zu der Funkenstrecke einen Kondensator schaltet. Diese Anordnung zeigte sich nach seiner Angabe „sehr wirksam“; Tietz hielt es für sehr wahrscheinlich, daſs diese Wirkung „durch die Benutzung gröſserer Energiemengen, wie sie mit Transformatoren und Wechselströmen unter Einschaltung von Kondensatoren leicht zu erreichen sind, noch wesentlich gesteigert werden kann“. Ferner haben wir auch von dem System der abgestimmten Telegraphie von Lodge und Muirhead gesprochen, welches bereits aus dem Jahre 1897 datiert und bei welchem, wie aus der Patentbeschreibung und den dazugehörigen Abbildungen (s. S. 380, Fig. 197 und S. 381, Fig. 198) hervorgeht, gleichfalls Kondensatoren zur Verwendung kommen. Offenbar bilden dieselben jedoch in dem System nur eine Einzelheit, der die Erfinder selbst keine besondere Bedeutung beilegen. Der Zweck der Kondensatoren im Sender besteht bei Lodge und Muirhead lediglich darin, durch zwei Nebenfunken hindurch den eigentlichen Oszillator zu laden; auf die Schwingungsdauer dieses letzteren können sie deshalb keinen Einfluſs haben. Praktische Versuche mit dem genannten System haben, wie wir schon gelegentlich der Beschreibung desselben erwähnten, überhaupt nicht stattgefunden. Auch die Tietzschen Versuche wurden, nachdem die zitierte Arbeit erschienen war, nicht so weit fortgesetzt, daſs sie praktische Erfolge hätten zeitigen können. Wenn also auch Braun nicht der erste

gewesen ist, der die Anwendung von Kondensatoren empfohlen hat, so gebührt doch ihm das Verdienst, die Vorteile, die der drahtlosen Telegraphie aus dieser Anwendung erwachsen, in vollem Umfange erkannt zu haben.

Einen wichtigen Teil des Braunschen Systems bildet ferner, wie an anderer Stelle gesagt worden, die Einschaltung eines Transformators zwischen die Antenne und den Erreger oder den Empfänger der elektrischen Wellen. Auch diese Anordnung konnte zur Zeit, als Braun sie für sein System verwertete, nicht als neu bezeichnet werden, denn sie unterscheidet sich kaum von dem „jigger“, für welchen Marconi und die „Wireless Telegraph and Signal Company“ bereits am 1. Juni 1898 ein englisches Patent anmeldeten. Nach der Patentbeschreibung selbst war aber der „jigger“ damals ausschliefslich dazu bestimmt, einen Teil des Empfangsapparats zu bilden. In einem am 15. Mai 1901 vor der Londoner „Society of Arts“ gehaltenen Vortrage[17]) nimmt Marconi allerdings die Priorität der abgestimmten Telegraphie vollständig für sich in Anspruch, weil die Beschreibung des erwähnten Patents den Satz enthält, es sei „wünschenswert, dafs die Induktionsspule (d. h. der „jigger“) sich mit den übertragenen elektrischen Schwingungen in Syntonie befinde“. Über die Mittel, durch welche die Periode der erzeugten Schwingungen beeinflufst werden soll, ist in jener Beschreibung nichts angedeutet; nach den Versuchen, über die wir an anderer Stelle berichtet haben, ist aber anzunehmen, dafs Marconi damals für diesen Zweck kein anderes Mittel zur Verfügung hatte als die verschiedene Abmessung der Antenne, ein Mittel also, welches, wie wir gesehen haben, seine Aufgabe nur sehr unvollkommen erfüllt. Ebensowenig ist in jener Patentbeschreibung von einer Verwendung des „jigger“ im Sendeapparat die Rede; dieser Teil des Braunschen Systems hat aber seine Bedeutung nicht im Empfänger, sondern vor allem im Sender, und zwar in der induktiven Erregung, die vor der direkten Verbindung des Schwingungskreises und der Antenne die Vorteile voraus hat, die an anderer Stelle ausführlich dargelegt wurden. Auch dieser Teil des Braunschen Systems findet sich bereits in seinem deutschen Patent vom 14. Oktober 1898; Marconi machte einen entscheidenden Schritt zur Lösung des Problems der Syntonie erst mit den Anordnungen, auf welche er und die „Wireless Telegraph and Signal Company“ im Jahre 1900 ihre englischen Patente anmeldeten. Im September jenes Jahres berichtete dann Professor

Fleming in einem Briefe an die „Times“ als Augenzeuge über die Versuche mit mehrfacher Telegraphie zwischen Poole und St. Catherine, die wir an anderer Stelle erwähnt haben.

Mit Bezug auf das System Slaby-Arco können wir uns kürzer fassen. Das Patent auf die in Fig. 229 (S. 409) dargestellte Anordnung wurde am 3. November 1899 angemeldet. Die mehrfache Telegraphie nach dem System Slaby-Arco beruht aber auf Versuchen, die Slaby erst im Sommer 1900 anstellte; die diesbezüglichen Patente wurden von der „Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft“ erst im Herbst desselben Jahres angemeldet, also später als diejenigen Marconis und der „Wireless Telegraph and Signal Company“. Dafs Slaby zur Zeit, als er jene Versuche anstellte, von den Bestrebungen Marconis oder Brauns in derselben Richtung irgend welche Kenntnis gehabt haben könne, ist aber schon deshalb so gut wie unmöglich, weil die Öffentlichkeit von derartigen Bestrebungen erst aus den Patenten etwas zu erfahren pflegt, deren Publikation, wie bereits gesagt, in der Regel sehr spät erfolgt. In einem am 22. Dezember 1900 gehaltenen Vortrage über „Mehrfache und abgestimmte Telegraphie“ erwähnt übrigens Slaby selbst, dafs er erst damals von der auf Marconis Versuche bezüglichen Mitteilung von Prof. Fleming erfahren habe. Diesen Vortrag begleitete Slaby durch die schon erwähnte erste öffentliche Vorführung einer gleichzeitigen und unabhängigen drahtlosen Telegraphie zwischen zwei Sendestationen und zwei auf einer und derselben Empfangsstation installierten Empfangsapparaten; die Mittel, welche dieses Resultat ermöglicht hatten, wurden in jenem Vortrage eingehend erläutert. Für diese Mittel kann Slaby die Priorität in Anspruch nehmen: es sind dies der Verlängerungsdraht, welcher es gestattet, mehrere Empfangsapparate an einen beliebigen vertikalen Leiter als gemeinsame Antenne auzuschliefsen und ihnen gleichwohl verschiedene Schwingungsperioden zu geben, sowie ferner der Multiplikator, der zugleich die Einwirkung der Wellen auf den Kohärer verstärkt. In einer theoretischen Untersuchung[18]) hat Slaby neuerdings die Rolle, welche den verschiedenen Organen der drahtlosen Telegraphie zufällt, eingehend begründet.

Damit verlassen wir die Prioritätsfrage. Von ungleich gröfserer praktischer Wichtigkeit ist die bisher nur flüchtig gestreifte Frage nach den Grenzen, die fürs erste den Anwendungen der drahtlosen Telegraphie gesetzt scheinen, und nach den Möglichkeiten einer

zukünftigen weiteren Entwickelung. Gewifs wäre es vermessen, den Fortschritten, welche der Telegraphie durch elektrische Wellen aus etwaigen späteren Erfindungen erwachsen können, heute irgend welche Grenzen vorschreiben zu wollen; ebenso unberechtigt wäre es aber, wollte man diese Fortschritte gewissermafsen schon vorweg nehmen und auf den im Schofse der Zukunft ruhenden Möglichkeiten phantastische Gebäude errichten. An anderer Stelle haben wir gesagt, dafs das Problem der Syntonie von einer vollständigen Lösung noch weit entfernt ist. Eine solche wäre erst dann gefunden, wenn wir einen Empfangsapparat besäfsen, der nur Wellen von einer bestimmten Periode aufzunehmen vermöchte, für Wellen von irgend welchen anderen Perioden dagegen vollständig unempfindlich wäre. Ein vollkommener Resonator existiert nicht einmal für die Schallschwingungen, und ebensowenig hat man ihn bis heute — trotz aller optimistischen Versicherungen, die von Zeit zu Zeit in der Presse auftauchen — für die elektrischen Schwingungen gefunden. Wohl ist die Lage gegenwärtig schon eine ganz andere als zur Zeit der ersten Versuche im Gebiete der drahtlosen Telegraphie; die Schutzlosigkeit, mit der der Kohärer damals jeder Einwirkung elektrischer Wellen preisgegeben war, ist nicht mehr vorhanden. Auch heute noch läfst sich aber die Skala der für die drahtlose Telegraphie in Betracht kommenden Wellenlängen schwerlich in mehr als eine engbegrenzte Zahl von Intervallen einteilen, wenn wir sicher sein wollen, dafs ein für eine bestimmte Wellenlänge eingerichteter Resonator für eine um die Gröfse des gewählten Intervalls von der seinigen verschiedene Wellenlänge vollständig unempfindlich sein soll. Bei der zunehmenden Zahl der Stationen für drahtlose Telegraphie kann es darum nicht ausbleiben, dafs die von einer unter ihnen ausgegebenen Depeschen zwar nicht von sämtlichen innerhalb einer gewissen Entfernung gelegenen Empfangsstationen, aber doch von einem beträchtlichen Teile derselben aufgenommen werden, und nicht etwa, wie es eine vollkommene Lösung des Problems der Syntonie verlangen müfste, von einem einzigen unter allen Empfangsapparaten dieser Stationen. Dieser Übelstand mufs sich um so fühlbarer machen, je mehr die Entfernung wächst, auf welche Telegramme übertragen werden. Bereits am Schlusse des zweiten Teiles wurde erwähnt, dafs Marconi mit einem bei St. John (Neufundland) aufgestellten Empfangsapparat Signale erhalten habe, die von einer auf der anderen Seite des Ozeans, bei Poldhu in Cornwall gelegenen

Sendestation aufgegeben waren. Auf die Erörterungen, die sich an jenes Experiment geknüpft hatten, brauchen wir nicht einzugehen; denn wenn auch die Signale, die der Empfangsapparat in St. John registrierte, in Wirklichkeit nicht dieselben gewesen sein sollten, die der Sendeapparat auf der anderen Seite des Ozeans den elektrischen Wellen anvertraut hatte, so wäre darum doch an der technischen Möglichkeit einer Übertragung auf derartige Entfernungen nicht zu zweifeln. Nachdem es einmal festgestellt ist, dafs die Wellen, sei es durch einen Beugungsvorgang oder infolge wiederholter Zurückwerfung, ihren Weg von einer Station zu einer anderen auch dann noch finden, wenn die Krümmung der Erdoberfläche der Verbindung ein scheinbares Hindernis entgegensetzt, ist das Problem der Übertragung auf sehr grofse Entfernungen im Grunde nur eine Frage der Leistungsfähigkeit des Wellenerzeugers und der Empfindlichkeit des Empfangsapparats. Mit dem günstigen Ausgang eines derartigen Versuches ist aber das Problem einer drahtlosen Telegraphie über den Ozean noch keineswegs gelöst. Die eigentlichen Schwierigkeiten beginnen erst, wenn die drahtlose Telegraphie, um auch nur einen erheblichen Anteil des heute durch die Kabel bewältigten Depeschenverkehrs übernehmen zu können, auf jeder Seite des Ozeans in nicht sehr grofser Entfernung voneinander eine Anzahl von Stationen errichten müfste; die unausbleibliche Störung durch die Tätigkeit dieser Stationen wird besonders für die Schiffe empfindlich sein, die unausgesetzt den Weg über den Ozean zurücklegen und für welche die drahtlose Telegraphie schon heute, wenn auch nicht gerade ein unbedingtes Bedürfnis, so doch auf alle Fälle ein wichtiges Hilfsmittel geworden ist. Durch eine voreilige Konkurrenz mit den Kabelunternehmungen würde darum die drahtlose Telegraphie gerade dasjenige Gebiet schädigen, auf welchem, wenigstens fürs erste, ihre eigentliche Bedeutung liegt.

Auch die schwerwiegende Frage der Geheimhaltung der Nachrichten darf nicht übergangen werden. Wir wollen einmal annehmen, Signale, die von einem für eine bestimmte Wellenlänge eingerichteten Apparat ausgehen, könnten nur von einem genau auf die gleiche Wellenlänge abgestimmten Empfangsapparat aufgenommen werden. Auch dann bliebe noch die Möglichkeit der Herstellung eines Empfangsapparats, dessen Schwingungsperiode wenigstens innerhalb gewisser Grenzen nach Belieben reguliert werden könnte; nach einigen Versuchen könnte man mit einem

solchen Apparate immer die Wellenlänge ausfindig machen, die zur Aufnahme der von einer gegebenen Station ausgehenden Depeschen erforderlich ist. Vorläufig bedarf es aber noch nicht einmal dieses Hilfsmittels, denn ein Empfänger von irgend einer Periode reagiert, wenn er nur hinreichend empfindlich ist, auf Wellen von jeder Periode, die sich von der seinigen nicht allzu weit entfernt; wir haben ja gesehen, dafs die „Gesellschaft für drahtlose Telegraphie" einen Empfänger konstruiert, der geradezu für das Abfangen von Depeschen bestimmt ist. Das Mittel einer verabredeten Geheimsprache ist hiergegen nur ein notdürftiger Behelf. Selbst mit abgestimmten Apparaten läfst sich ferner eine beabsichtigte Störung des Verkehrs durch Sendeapparate, welche dem Empfangsapparat in unregelmäfsiger Folge willkürliche Signale zuschicken und damit die eigentlich für ihn bestimmten Depeschen unverständlich machen, kaum verhindern. Endlich ist es auch nicht ausgeschlossen, dafs trotz der an anderen Stellen genannten Vorrichtungen die Empfangsapparate der drahtlosen Telegraphie durch elektrische Vorgänge in der Atmosphäre beeinflufst werden; diese Störungen müssen um so häufiger auftreten und um so lästiger in den Verkehr eingreifen, je gröfser die zu überbrückenden Entfernungen und je empfindlicher die Empfangsapparate sind.

Die geschilderten Übelstände müssen sich samt und sonders auch geltend machen, falls die elektrischen Wellen, anstatt Nachrichten zu übermitteln, etwa dazu dienen sollten, gröfsere Energiemengen durch den Raum zu übertragen oder andere Mechanismen als die Telegraphenempfänger aus der Ferne zu lenken. Da die elektrischen Wellen eine Form der Energie sind, die sich von Ort zu Ort durch den Raum ausbreitet, so besteht theoretisch kein Grund, weshalb dieselben nicht auch zur Übertragung beliebig grofser Energiemengen geeignet sein sollten. Und ebenso gut wie die elektrischen Wellen, indem sie die Leitfähigkeit einer Feilichtröhre beeinflussen, aus der Ferne ein Telegraphenrelais in Bewegung setzen, sollten sie das gleiche auch für einen beliebigen Mechanismus leisten können. Der bekannte Erfinder Tesla, dessen glänzende Versuche mit Wechselströmen von hoher Frequenz allgemeines Aufsehen erregt haben, trug sich in der Tat mit dem Plan einer drahtlosen Energieübertragung in gröfstem Mafsstabe; eine Reihe von Erfindern, wie Orling und Braunerhjelm, Jameson und Trotter und auch Tesla selbst, haben Apparate ausgedacht und teilweise auch konstruiert, die durch elektrische Wellen aus der

Ferne bewegt werden sollen. Ein Unterseeboot z. B. soll seine Bewegung durch eine Schraube erhalten, die durch einen in seinem Innern verborgenen elektrischen Motor getrieben wird, und sein Steuerruder soll ebenfalls durch einen derartigen Motor gelenkt werden; beide empfangen ihren Strom von einer in dem Fahrzeug untergebrachten Akkumulatorenbatterie, deren Stromkreis durch einen Kohärermechanismus von einer am Ufer befindlichen Sendestation für elektrische Wellen geschlossen und unterbrochen wird. Das Boot kann also aus der Ferne nach Belieben gelenkt werden. Augenzeugen berichten, dafs ein derartiges Boot wirklich existiert und, was viel mehr ist, dafs dasselbe dem Willen seines Lenkers gehorcht. Anscheinend wären also die geschilderten Projekte nicht nur ausführbar, sondern, wie dieses Beispiel beweist, zum Teil schon ausgeführt. Um die eine Frage freilich, wie es denn verhindert werden soll, dafs jeder, der mit den geeigneten Empfangsapparaten ausgerüstet ist, die herrenlos im Raume irrenden Kräfte für seine Zwecke abfangen kann, scheint Tesla bei seinem Plane einer Energieübertragung sich nicht gekümmert zu haben; den Erfindern des Unterseebootes, das bei der Berührung mit einem feindlichen Schiff dieses in die Luft sprengen soll, ist es offenbar nicht in den Sinn gekommen, dafs der Angegriffene, anstatt die Gefahr ruhig abzuwarten, einen wellenerzeugenden Apparat in Tätigkeit setzen kann, der den delikaten Mechanismus des unsichtbaren Angreifers in Verwirrung bringt und diesen von seinem Wege ablenkt.

Es erscheint uns müfsig, bei diesen oder ähnlichen Projekten noch länger zu verweilen; kehren wir dafür noch einen Augenblick zur eigentlichen Telegraphie ohne Draht zurück. Man will uns glauben machen, Marconis Erfindung habe die Mission, den elektrischen Nachrichtenaustausch von der Fessel des Leitungsdrahtes zu befreien und diesen aus dem Gebiete der Verkehrsmittel gänzlich zu verbannen. Und doch heifst es die Aufgabe der drahtlosen Telegraphie verkennen, wenn man sie in einen vorzeitigen Wettbewerb mit der Leitungstelegraphie drängen will. Versetzen wir uns im Geiste um sechs oder sieben Jahrzehnte zurück, in die Zeit, da die Leitungstelegraphie dank den Erfindungen von Gaufs und Weber, von Morse und Steinheil ihre ersten Triumphe feierte. Denken wir uns, anstatt der Genannten sei damals Marconi mit seiner Erfindung gekommen. Die Welt, unbekannt mit der Tatsache, dafs elektrische Wirkungen auch durch Drähte von Ort

zu Ort übertragen werden können, habe um der offenkundigen Vorteile des neuen Verkehrsmittels willen die Nachteile desselben, wie die gegenseitige Störung gleichzeitiger Signale, die Notwendigkeit einer vereinbarten Geheimsprache u. s. w., gern in Kauf genommen. Nun aber sei Morse mit seinem auf Leitung gegründeten Telegraphen auf dem Schauplatz erschienen. Kann ein Zweifel darüber bestehen, dafs der Leitungsdraht in diesem Falle nicht als eine Fessel, sondern als ein befreiender Fortschritt begrüfst worden wäre? Diese einfache Erwägung sollte, so will uns scheinen, auch den begeistertsten Anhänger Marconis überzeugen, dafs für jetzt und auch wohl noch für geraume Zeit nicht im Kampfe mit der alten Telegraphie, sondern in ihrer Ergänzung die wahre Aufgabe der drahtlosen Telegraphie vorgezeichnet ist.

B. Dessau.

Literatur und Patente.

[1]) Tommasi, Compt. Rend. Bd. 130, S. 1307 [1900].

[2]) Jégou, Ebenda Bd. 131, S. 1882 [1900].

[3]) Blondel, Ebenda Bd. 130, S. 1383 [1900].

[4]) Cole und Cohen, Engl. Pat. Nr. 5543 vom 14. März 1899.

[5]) Walter, Amerikan. Pat. Nr. 643 018 vom 6. Februar 1900.

[6]) Bull, Engl. Pat. Nr. 11 824 vom 29. Juni 1900. Elektrotechn. Zeitschrift Bd. 22, S. 109 [1901].

[7]) Lodge und Muirhead, Engl. Pat. Nr. 18 644 vom 11. August 1897 und Nr. 11 575 vom 5. Februar 1898.

[8]) Tietz, Elektrotechn. Zeitschr. Bd. 19, S. 562 [1898].

[9]) Braun, Drahtlose Telegraphie durch Wasser und Luft. Leipzig 1901. Die wissenschaftlichen Grundlagen seines Systems waren von Braun bereits vor dieser Veröffentlichung in mehreren in der Elektrotechn. Zeitschr. und der Physikal. Zeitschr., Jahrg. 1901 erschienenen Mitteilungen dargelegt worden. Die deutschen Patente der „Gesellschaft für drahtlose Telegraphie“, welche die Braunschen Erfindungen nebst einigen von anderer Seite eingeführten Abänderungen verwertet, sind die folgenden: Nr. 111 578 vom 13. Oktober 1898; Nr. 109 378 vom 25. Januar 1899; Nr. 114 072 vom 21. September 1899; Nr. 121 959 vom 27. September 1899; Nr. 117 489 vom 4. Januar 1900; Nr. 131 305 vom 10. Juni 1900; Nr. 131 141 vom 21. Januar 1901; Nr. 131 298 vom 23. Januar 1901.

[10]) Slaby, Elektrotechn. Zeitschr. Bd. 23, S. 165 [1902].

[11]) Braun, Drudes Ann. Bd. 8, S. 165 [1902].

[12]) Die engl. Patente Marconis und der „Wireless Telegraph and Signal Company“, soweit sie sich auf die abgestimmte Telegraphie beziehen, sind die folgenden: Nr. 5387 vom 21. März 1900; Nr. 7777 vom 26. April 1900.

[13]) Brown, Engl. Pat. Nr. 14 449 vom 13. Juli 1899.

[14]) Fessenden, Electrical World and Engineer, 29. Juni 1901.

[15]) Die wissenschaftlichen Grundlagen des Systems Slaby-Arco wurden von Slaby in mehreren Vorträgen dargelegt, die er dann in einem Buche Die Funkentelegraphie, 2. Aufl. Berlin 1901, vereinigt hat. S. ferner Slaby Elektrotechn. Zeitschr. Bd. 23, S. 165 [1902]. — Die auf die drahtlose Telegraphie bezüglichen deutschen Patente der „Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft" sind die folgenden: Nr. 113285 vom 25. April 1899; Nr. 116071 vom 9. Februar 1900; Nr. 124645 vom 9. Februar 1900; Nr. 116113 vom 24. März 1900; Nr. 129892 vom 16. Oktober 1900; Nr. 130723 vom 17. Oktober 1900; Nr. 127730 vom 10. November 1900; Nr. 131584 vom 10. November 1900; Nr. 131586 vom 10. November 1900; Nr. 130122 vom 13. Dezember 1900; Nr. 131585 vom 7. Februar 1901; Nr. 126273 vom 28. Februar 1901; Nr. 129017 vom 19. April 1901; Nr. 132108 vom 26. April 1901; Nr. 132109 vom 12. Juli 1901. Eine Reihe weiterer Patente sind angemeldet.

[16]) Marconi, The Electrician, 24. und 31. Mai 1901.

Vierter Teil.

Drahtlose Telegraphie mit Hilfe des Lichts und der ultravioletten Schwingungen.

Erstes Kapitel.

Drahtlose Telegraphie mit Hilfe der ultravioletten Schwingungen.

61. Die photoelektrischen Erscheinungen.

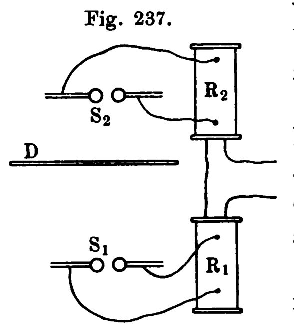
Während seiner berühmten Versuche über die elektrischen Wellen, von denen wir im § 30 ausführlich berichtet haben, wurde Hertz[1]) auf eine eigentümliche Erscheinung aufmerksam, die später von Zickler als Grundlage eines neuen Systems der drahtlosen Telegraphie verwertet wurde.

Wie wir in § 19 erfahren haben, mufs zwischen zwei durch ein Dielektrikum getrennten Leitern, wenn zwischen denselben ein Funke auftreten soll, eine Potentialdifferenz bestehen, deren Gröfse von dem Abstand zwischen den Elektroden, dem Material dieser letzteren, der Natur des Dielektrikums u. s. w. abhängt; diese für die Entstehung eines Funkens notwendige Potentialdifferenz wurde kurz als Entladungspotential bezeichnet. Hertz beobachtete nun, dafs das Entladungspotential zwischen zwei Leitern etwas unter den normalen Wert sank, wenn im Augenblick der Entladung in der Nähe ein zweiter, der sogenannte aktive Funke übersprang; der letztere ermöglichte also das Auftreten des ersten Funkens, den man als passiven bezeichnet, schon bei einer Potentialdifferenz, die unter normalen Verhältnissen für eine Funkenentladung auf die vorhandene Entfernung nicht hingereicht haben würde.

Durch geeignete Änderung der Versuchsbedingungen überzeugte sich Hertz sofort, dafs die Erscheinung ihre Ursache nicht in den von dem aktiven Funken herrührenden elektrischen oder magnetischen Kräften, sondern in der von demselben ausgesandten Strahlung hatte. Man brauchte in der Tat nur mittels eines geeigneten Schirms, der so aufgestellt wurde, dafs der passive Funke den aktiven gewissermafsen nicht sehen konnte, die Strahlung abzuschneiden, so hörte die Erscheinung auf.

Der Versuch läfst sich mit der in Fig. 237 dargestellten Anordnung ausführen. Zwei Induktionsapparate R_1 und R_2 werden durch eine gemeinsame Batterie, deren Strom sich in ihre Primärspulen verzweigt, und durch einen gemeinsamen Unterbrecher erregt, so dafs in S_1 und S_2 zwischen den Enden der beiden induzierten Stromkreise gleichzeitig Funken auftreten können. Einem der Funken, z. B. S_1, der als aktiver Funke dienen soll, gibt man die gröfstmögliche Länge; die Länge des anderen, S_2, wird reguliert, indem man durch Einschaltung eines Zusatzwiderstandes in den Primärkreis des Induktionsapparates R_2 die Intensität des induzierenden Stromes in demselben herabsetzt. Zweckmäfsig läfst man den passiven Funken S_2 zwischen Metallkugeln überspringen, deren Abstand voneinander etwas geringer ist als ihr Durchmesser.

Fig. 237.



Man bringt nun zwischen die beiden Funken einen Schirm D und entfernt die Kugeln, zwischen denen der passive Funke S_2 übergeht, so weit voneinander, dafs dieser eben nicht mehr zu stande kommt; nimmt man dann den Schirm weg, so erscheint der Funke wieder und verschwindet aufs neue, so oft man den Schirm wieder an seine Stelle bringt.

Es läfst sich leicht nachweisen, dafs die beobachtete Wirkung tatsächlich von einer von dem aktiven Funken S_1 ausgehenden Strahlung herrührt. Um den Funken S_2 zum Verschwinden zu bringen, braucht nämlich der Schirm nur eine solche Gröfse und Aufstellung zu erhalten, dafs jede von S_1 nach S_2 gezogene Gerade denselben schneidet. Die Strahlen, welche die geschilderte Wirkung hervorbringen, sind jedoch nicht diejenigen, die in unserem Auge die Lichtempfindung erzeugen. Selbst eine dünne und vollkommen durchsichtige Platte aus Glas oder Glimmer hält,

wenn man sie an Stelle des Schirmes D benutzt, die wirksame Strahlung auf und bringt den passiven Funken zum Verschwinden, während eine dicke und nicht sehr durchsichtige Platte aus kristallisiertem Gips oder noch besser eine Quarzplatte der Wirkung des aktiven Funkens auf den passiven keinen Eintrag tut. Wahrscheinlich handelt es sich also um eine Wirkung der ultravioletten Strahlen, die von Quarz und kristallisiertem Gips durchgelassen, von Glas und Glimmer dagegen stark absorbiert werden.

Läfst man die Strahlen einer elektrischen Bogenlampe durch ein Prisma gehen — wir wollen annehmen, dasselbe bestehe aus Quarz — so erhält man ein verbreitertes Bild der Lichtquelle, in dem die Strahlen von verschiedener Wellenlänge, aus denen sich die von der Lampe ausgesandte Strahlung zusammensetzt, nebeneinander gereiht sind. Ein Teil dieser einfachen Strahlen ist sichtbar, d. h. sie vermögen in unserem Auge die Lichtempfindung zu erwecken. Die Empfindung, welche von ihnen hervorgerufen wird, ist je nach der Wellenlänge der betreffenden Strahlung, also je nach der Stelle, welche dieselbe im Spektrum einnimmt, verschieden. Die Strahlen, die durch das Prisma am wenigsten von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt werden, rufen die Empfindung der roten Farbe hervor, die am stärksten abgelenkten werden als Violett empfunden; Rot und Violett bilden die Enden des sichtbaren Teiles des Spektrums. Es gibt aber noch Strahlen, die weniger stark abgelenkt werden als die roten, und andere, die stärker abgelenkt werden als die violetten; die ersteren heifsen ultrarote, die letzteren ultraviolette Strahlen. Weder die einen noch die anderen vermögen unter gewöhnlichen Umständen eine Lichtempfindung zu erwecken; die ultravioletten Strahlen sind es, welche die von Hertz entdeckte Erscheinung hervorrufen.

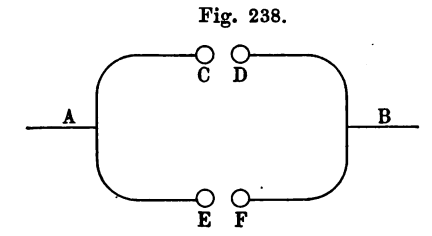
Hertz änderte seinen Versuch ab, indem er den aktiven Funken durch eine elektrische Bogenlampe oder durch eine Magnesiumlampe ersetzte. Diese beiden Lichtquellen sind für den beabsichtigten Zweck besonders geeignet, weil sie einen reichlichen Anteil an ultravioletten Strahlen aussenden. Der Versuch kann dann die folgende einfache Gestalt erhalten.

Zwei mit den Polen einer Elektrisiermaschine oder eines Induktionsapparates verbundene Leiter A und B gabeln sich, wie in Fig. 238 (a. f. S.) dargestellt, und tragen an ihren Enden vier Metallkugeln C, D, E und F, die zu je zweien einander gegenüberstehen, so

dafs die Entladungen der Elektrisiermaschine oder des Induktionsapparates zwischen C und D oder zwischen E und F übergehen können. Tritt der Funke zuerst in CD auf und entfernt man dann die Kugeln C und D voneinander oder nähert man die Kugeln E und F einander, bis der Funke in CD verschwindet und statt dessen in EF erscheint, so braucht man nur CD den Strahlen der Bogenlampe oder der Magnesiumlampe auszusetzen, und der Funke tritt von neuem in CD auf.

Die hier beschriebene Versuchsanordnung eignet sich auch für eine quantitative Schätzung des Phänomens. Man beginnt damit, die Intervalle CD und EF einander gleich zu machen, so dafs die Funken, wenn keine Strahlen wirken, bald den einen, bald den anderen Weg nehmen und kein Unterschied zwischen beiden bemerkbar ist. Soll dies auch noch der Fall sein, wenn die Strahlen auf den Funken CD (nicht aber auf EF) einwirken, so mufs man den Abstand EF etwas verkürzen. Da man nun weifs, welche Potentialdifferenz erforderlich ist, um einen Funken von gegebener Länge hervorzubringen, so erfährt man durch den geschilderten Versuch, um wieviel die Strahlen das Entladungspotential des Funkens CD herabgesetzt haben.

Fig. 238.

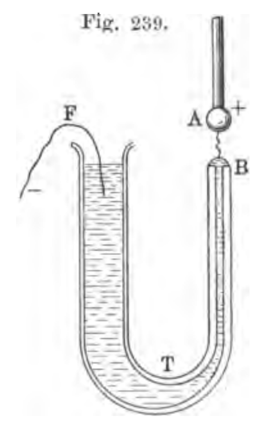


Das Hertzsche Phänomen nimmt einen ausgeprägten Charakter an, wenn man den Druck des Gases, in dem sich der Funke bildet, vermindert. Befinden sich die Elektroden C und D innerhalb eines geschlossenen Behälters, der Luft oder ein anderes Gas in mehr oder minder starker Verdünnung enthält, so wird mit fortschreitender Verdünnung des Gases das Entladungspotential durch die Strahlen in immer stärkerem Mafse herabgesetzt, solange nicht an Stelle der Funken eine andere Entladungsform tritt. Natürlich dürfen die Wände des Gefäfses nicht aus einem Material bestehen, welches die Strahlen, die hauptsächlich die Erscheinung hervorrufen, absorbiert. Glas ist deshalb im allgemeinen nicht zu gebrauchen, oder es mufs wenigstens ein Teil der Wandung, durch welche man die Strahlen in den Behälter eintreten läfst, aus einer Quarz- oder Selenitplatte bestehen.

Das Hertzsche Phänomen wurde von anderen Physikern noch genauer studiert, vor allem von E. Wiedemann und Ebert[2]),

welche feststellten, dafs die Strahlen ihre Wirkung nur dann hervorrufen, wenn sie die negative Elektrode oder Kathode treffen. Ob sie die Anode treffen und ob sie das zwischen den Elektroden befindliche Gas durchsetzen, ist für die Erscheinung ohne Belang. Da die Wirkung sich auf die Kathode beschränkt, so ist es offenbar gleichgültig, aus welchem Material die Anodenkugel besteht. Dies gilt aber anscheinend nicht von der Kathode; das geeignetste Material für die Kathode ist nach den genannten Physikern das Platin, welches aufserdem den Vorzug der Unveränderlichkeit besitzt. Immerhin ist aber der Einflufs des Materials der Kathode nicht bedeutend, wenn dieselbe aus einem Metall besteht; benutzt man dagegen als Kathode eine leitende Flüssigkeit, so ruft dies eine einschneidende Veränderung hervor. Der Versuch kann in diesem Falle mit der in Fig. 239 dargestellten Anordnung ausgeführt werden. Die Funken bilden sich in dem Intervall AB zwischen der Kugel A, die als Anode fungiert, und der Flüssigkeit, die in einer Glasröhre T enthalten ist und durch einen Draht F mit dem negativen Pol der Elektrizitätsquelle in Verbindung steht. Die Röhre ist U-förmig gebogen; der eine Arm TB derselben ist eine Kapillarröhre und enthält so viel Flüssigkeit, dafs dieselbe am oberen Ende B der Röhre eine nach aufsen gekrümmte Oberfläche bildet. Ist die angewandte Flüssigkeit Wasser, so bringt ultraviolettes Licht, das man auf die flüssige Kathode B fallen läfst, keine merkliche Wirkung hervor. Das Hertzsche Phänomen tritt also nicht in merklichem Grade auf. Dasselbe zeigt sich aber alsbald, wenn man an Stelle des Wassers eine Flüssigkeit verwendet, welche, wie z. B. eine wässerige Lösung von Nigrosin, die ultravioletten Strahlen stärker absorbiert.

Fig. 239.



Den Untersuchungen von Wiedemann und Ebert folgten weitere von Hallwachs[3]), von Righi[4]), von Stoletow[5]) u. a. Der Erstgenannte erhielt die photo-elektrische Erscheinung in neuer Gestalt. Er zeigte, dafs ein mit negativer Elektrizität geladenes Metall seine Ladung rasch verliert, wenn es von ultravioletten Strahlen getroffen wird, während ein positiv geladenes Metall keine Einwirkung erfährt. Der Verfasser dieses Teils wies nach, dafs das Hallwachssche Phänomen in den Dielektrizis und in den

Leitern auftritt; in den letzteren schon bei sehr schwachen elektromotorischen Kräften von der Gröſsenordnung derjenigen, die durch einfache Berührung hervorgerufen werden; er gründete hierauf ein bequemes Verfahren, um die scheinbare elektromotorische Kraft der Berührung oder die Gröſse des sogenannten Volta-Effekts zu messen. Er untersuchte ferner den Mechanismus der durch die Strahlung hervorgerufenen Zerstreuung der negativen Elektrizität. Findet der Versuch in einem Gas unter gewöhnlichem Druck statt, so bewegen sich, wie der Verfasser nachwies, die negativen Ionen oder vielleicht richtiger die Elektronen, denen man heute die Erscheinung zuschreibt, längs der Kraftlinien; sinkt der Druck in dem Gase, so entfernen die Bahnen der Elektronen sich mehr und mehr von den Kraftlinien und gehen schlieſslich in gerade Linien über, die normal zur Oberfläche des geladenen Körpers gerichtet sind; bei den äuſsersten erreichbaren Verdünnungsgraden treten wirkliche Kathodenstrahlen auf. Endlich entdeckte der Verfasser, daſs auch auf völlig ungeladene Körper die ultravioletten Strahlen eine Wirkung ausüben; solche Körper verlieren negative Elektrizität und nehmen eine positive Ladung an. Stoletow und andere Physiker haben das Hallwachssche Phänomen auch nach abweichenden Verfahren und unter verschiedenartigen Versuchsbedingungen studiert.

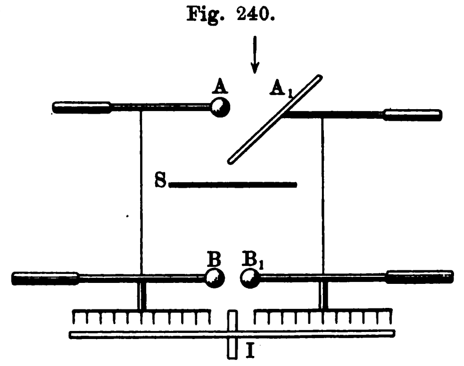
Die zuletzt geschilderten Erscheinungen durften hier nicht vollständig unerwähnt bleiben, weil sie mit dem von Hertz entdeckten Phänomen in unmittelbarem Zusammenhange stehen. Praktische Anwendung für die drahtlose Telegraphie haben dieselben jedoch bis jetzt nicht gefunden und wir wollen uns deshalb nicht länger bei ihnen aufhalten. Kehren wir wiederum zu dem Einfluſs der Strahlen auf das Entladungspotential zurück. Wir müssen nunmehr die von Elster und Geitel[6]) festgestellte Tatsache erwähnen, daſs in gewissen Fällen die Strahlen das Entladungspotential nicht herabsetzen, sondern erhöhen.

Die Entladungen einer Elektrisiermaschine I (Fig. 240 a. f. S.) können entweder zwischen den Kugeln B und B_1 oder zwischen der Kugel A, deren Durchmesser 14 mm beträgt, und der Platte A_1 aus amalgamiertem Zink übergehen. Sind die Schlagweiten ziemlich klein, so kann man mit dieser Anordnung, die sich im Grunde nicht von derjenigen der Fig. 238 unterscheidet, das Hertzsche Phänomen erhalten. Man braucht nur dafür zu sorgen, daſs der Leiter $A_1 B_1$ derjenige ist, der von der Maschine negative Elektrizi-

tät erhält und dafs auf die Platte A_1 ultraviolette Strahlen fallen, während B_1 durch einen Schirm S gegen dieselben geschützt ist; dann kann man es leicht dahin bringen, dafs die Funken, die vorher den Weg BB_1 genommen hatten, nunmehr zwischen A und A_1 übergehen. Vergröfsert man aber die Distanzen AA_1 und BB_1, während man gleichzeitig darauf achtet, dafs dieselben einander annähernd äquivalent bleiben, so wird das Hertzsche Phänomen immer schwächer und verschwindet schliefslich ganz; an seine Stelle tritt dann die von Elster und Geitel beobachtete umgekehrte Erscheinung: das Entladungspotential wird durch die Bestrahlung der Elektrode nicht herabgesetzt, sondern erhöht.

Um diese Erscheinung zu erhalten, kann man folgendermafsen vorgehen. Man entfernt A ziemlich weit, z. B. bis auf 8 cm, von der Mitte von A_1 und vergröfsert nunmehr auch den Abstand zwischen B und B_1, bis die Entladungen ausschliefslich zwischen A und A_1 übergehen. Hierauf nähert man B und B_1 einander so weit, als dies möglich ist, ohne dafs die Funken aufhören, zwischen A und A_1 überzugehen; oder mit anderen Worten, man mache den Abstand BB_1 so klein, dafs eine weitere Verminderung desselben sofort die Funken von dem Weg AA_1 ablenken und auf den Weg BB_1 leiten würde. Läfst man dann die Strahlen auf AA_1 fallen, so gehen die Funken alsbald auf die Bahn BB_1 über, und wenn man dieselben weiter in der Bahn AA_1 erhalten will, so mufs man die Bahn BB_1 etwas verlängern, also das Entladungspotential erhöhen.

Fig. 240.



Sella und Majorana[7]), die diese Erscheinungen, sowie die mit denselben vollkommen analogen, welche durch die Röntgenstrahlen hervorgerufen werden, eingehend studiert haben, sind der Ansicht, die von Elster und Geitel beobachtete Erscheinung habe ihre Ursache in einer Wirkung der Strahlen auf die Anode A und nicht auf die Kathode A_1. Einige Versuche, die sie zur Stütze ihrer Anschauung vorgenommen haben, scheinen in der Tat für dieselbe zu sprechen.

Sowohl bei dem Hertzschen wie bei dem umgekehrten Phänomen hängt die Gröfse der beobachteten Wirkung von der Intensität und der Qualität der Strahlen ab, die man auf die Elektroden fallen läfst. Am besten eignet sich das an ultravioletten Strahlen reiche Licht einer elektrischen Bogenlampe, besonders wenn eine der Kohlen hohl ist und einen Zink- oder Aluminiumdraht enthält oder einfacher, wenn die positive Kohle durch einen Zinkdraht ersetzt wird [8]). Die Strahlung elektrischer Funken, besonders wenn diese zwischen Elektroden aus Zink, Kadmium oder Aluminium überspringen, ist gleichfalls sehr wirksam; weniger wirksam ist dagegen das Licht des verbrennenden Magnesiums. Die Sonnenstrahlen, zumal in geringer Höhe über dem Meeresspiegel, haben so gut wie gar keine Wirkung. Dieselben enthalten nämlich nur diejenigen ultravioletten Strahlen, die im Spektrum ihren Platz unmittelbar jenseits des violetten Endes der sichtbaren Farbenskala haben, und auch diese Strahlen sind nur in verhältnismäfsig geringer Intensität vorhanden. Das beinahe vollständige Fehlen der aktiven Strahlen ist allerdings wahrscheinlich nur eine Folge des Vorhandenseins der Atmosphäre, die besonders in den unteren Schichten von gröfserer Dichte diese Strahlen reichlich absorbiert. Indessen können auch die Sonnenstrahlen, wie sie zu uns auf die Erdoberfläche herabgelangen, photoelektrische Wirkungen hervorrufen, nur sind hierfür Elektroden aus besonderen Substanzen notwendig; zu diesen gehören amalgamiertes Zink oder noch besser die Alkalimetalle Kalium, Natrium, Rubidium und ihre Legierungen. Mit diesen Stoffen und insbesondere mit dem letztgenannten erhält man das Hallwachssche Phänomen schon durch die Strahlen einer gewöhnlichen Flamme.

Für den Zweck, den wir hier im Auge haben, mufs man jedoch der Erscheinung eine möglichst grofse Intensität zu geben suchen. Man benutzt deshalb nicht allein die Strahlen einer elektrischen Bogenlampe, sondern umgibt auch die Kathode, auf welche dieselben einwirken sollen, mit einem geeignet verdünnten Gase.

62. Telegraphie durch ultraviolette Strahlen.

Das Hertzsche Phänomen wurde von Zickler [9]) auf folgende Weise zur Übertragung von Signalen benutzt. Auf der Sendestation ist eine an ultravioletten Strahlen reiche Lichtquelle aufgestellt, auf der Empfangsstation befindet sich ein Induktionsapparat,

der zwischen zwei Elektroden Funken zu erzeugen vermag. Der Abstand zwischen den Elektroden wird etwas gröfser gemacht als die gröfste Funkenlänge, die der Induktionsapparat zu liefern im stande ist; nur unter der Einwirkung der von der Sendestation ausgehenden ultravioletten Strahlen springen die Funken über. Je nachdem man auf der Sendestation den Strahlen den Weg zur Empfangsstation offen läfst oder ihn durch einen Schirm abschneidet, werden deshalb auf der letzteren die Funken auftreten oder verschwinden. Durch besondere Vorrichtungen kann dieser Wechsel des Auftretens und Verschwindens der Funken in hörbare Signale oder auch in die bleibenden Zeichen des Morsealphabets übertragen werden. Von der gewöhnlichen optischen Telegraphie unterscheidet sich also dieses System der Telegraphie insofern, als die Strahlen, welche von der einen Station zur anderen gesandt werden, keine sichtbaren Lichtstrahlen, sondern ultraviolette Strahlen sind. Dasselbe gestattet ferner mit Leichtigkeit die dauernde Aufzeichnung der Signale; und da der Schirm, durch welchen die ultravioletten Strahlen abgeschnitten werden, ganz einfach aus einer Glasscheibe bestehen kann, so werden die Signale von jemandem, der nicht über den beschriebenen Empfangsapparat verfügt, überhaupt nicht bemerkt, weil ohne diesen Apparat kein Unterschied in der Intensität der Lichtquelle wahrzunehmen ist, mögen nun die Strahlen derselben direkt oder durch die Glasplatte hindurch zu dem Beschauer gelangen. Das Geheimnis der Signale ist daher in einem Grade gewahrt, wie ihn die gewöhnliche optische Telegraphie nicht zu bieten vermag. In diesem Umstande, der in manchen Fällen von aufserordentlicher Wichtigkeit ist, erblickt Zickler im Vergleich mit der drahtlosen Telegraphie durch elektrische Wellen den Hauptvorteil seines Systems. Das Depeschengeheimnis ist um so besser gesichert, als man die Lichtstrahlen durch Linsen und Spiegel vollständig auf die Richtung vereinigen kann, welche nach der Empfangsstation führt; bei der Telegraphie durch elektrische Wellen dagegen würde, wie schon an anderer Stelle auseinandergesetzt, ein derartiger Versuch mit den heutigen Oszillatoren auf beinahe unüberwindliche Schwierigkeiten stofsen.

In der Tragweite der Signale steht dagegen das Zicklersche System bedeutend hinter den anderen Systemen der drahtlosen Telegraphie zurück. Bei den von Zickler angestellten Versuchen betrug bisher die gröfste Entfernung zwischen den beiden Stationen nicht einmal $1^1/_2$ km, während vermittelst elektrischer Wellen heute,

wenn auch nicht zu Lande, so doch auf dem Meere, regelmäſsig bis auf das Zehnfache oder gar Hundertfache dieser Entfernung Signale ausgetauscht werden. Man darf allerdings hoffen, daſs sich die Tragweite des Zicklerschen Systems durch Anwendung mächtigerer Strahlungsquellen als der bisher benutzten bedeutend vergröſsern lassen wird. Sind doch diese intensiven Lichtquellen gerade an solchen Orten bereits vorhanden, wo die drahtlose Telegraphie von besonderem Nutzen ist, nämlich auf den Leuchttürmen und auch auf den groſsen Dampfern, die sämtlich mit Projektionsapparaten und elektrischen Einrichtungen ausgerüstet zu sein pflegen.

Der Zicklersche Apparat ist folgendermaſsen angeordnet. Als Strahlenquelle dient auf der Sendestation eine elektrische Bogenlampe *L* (Fig. 241), die sich innerhalb eines geschlossenen Kastens *G* befindet, der nach Art der bekannten elektrischen Scheinwerfer in jeder Richtung geneigt werden kann. Die Strahlen der elektrischen Lampe treten aus der Laterne durch eine Quarzlinse *l*, die sich in solcher Entfernung von der Lichtquelle befindet, daſs sie die Strahlen parallel richtet, wodurch sie mit möglichst geringem Intensitätsverlust bis auf groſse Entfernungen gelangen können. Ein Hohlspiegel *S*, dessen Krümmungsmittelpunkt mit der Lichtquelle zusammenfällt, macht auch einen Teil derjenigen Strahlen nutzbar, die nicht direkt auf die Linse fallen; er sendet dieselben gegen die Lichtquelle zurück und vereinigt sie mit den direkt gegen die Linse gerichteten. Der bewegliche Schirm *V*, der, wie gesagt, aus Glas besteht, wird entfernt, wenn ein Signal gegeben werden soll, und zwar für kürzere oder längere Zeit, je nachdem ein Punkt oder ein Strich des Morsealphabets zu stande kommen soll.

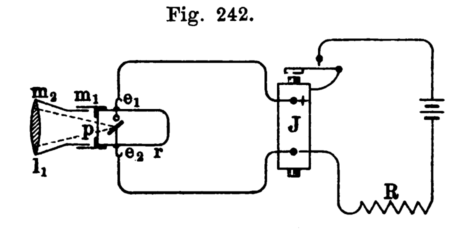
Fig. 241.

Zickler hat auch andere Formen des Sendeapparats benutzt. So findet er es besonders zweckmäſsig, die Kohlen der Bogenlampe horizontal und in der Richtung der Achse des Reflektors anzuordnen, die Quarzlinse zu beseitigen und als Reflektor einen von der Gröſse der gewöhnlichen Projektionsspiegel zu verwenden. Ferner beabsichtigt er, den Spiegel aus einem Material herzustellen,

dessen Reflexionsvermögen gröfser ist als dasjenige der gewöhnlich zu diesem Zweck benutzten Kupfer-Nickel-Legierung. An der Rückseite versilberte Glasspiegel, in so reichlichem Mafse sie auch die Lichtstrahlen zurückwerfen, wären für den hier verfolgten Zweck vollkommen unbrauchbar, weil das Glas die ultravioletten Strahlen absorbiert.

Die Anordnung der Empfangsapparate ist in Fig. 242 dargestellt. Der wichtigste Teil derselben ist ein Glasbehälter r mit einer durch eine Quarzplatte p luftdicht verschlossenen Öffnung. Die Luft oder ein anderes Gas in dem Behälter ist in geeignetem Grade verdünnt. In den Behälter ragen die beiden Elektroden e_1 und e_2; die erstere endigt in eine Kugel von wenigen Millimetern Durchmesser, die andere trägt eine kleine Platinplatte und ist so geneigt, dafs sie von den durch die Quarzplatte in den Behälter eintretenden Strahlen getroffen wird. Diese Strahlen, die von dem Scheinwerfer der Sendestation herrühren, werden durch eine Quarzlinse l_1 auf die Platinplatte konzentriert. Zu diesem Zwecke hat die Linse eine metallene Fassung m_2, die sich in einer an dem Behälter befestigten Röhre m_1 verschieben läfst, um die Linse genau in die erforderliche Entfernung von der Platinplatte bringen zu können. Anstatt der Linse l_1 oder aufser derselben kann man auch auf der Empfangsstation einen grofsen Konkavspiegel benutzen; in diesem Falle mufs die Platte r natürlich nicht gegen die Sendestation, sondern nach der entgegengesetzten Seite gerichtet sein.

Fig. 242.



Von den Elektroden e_1 und e_2 führen Drähte zu den Enden des Sekundärkreises eines kleinen Induktionsapparats I, der, wie in der Abbildung angedeutet, durch eine galvanische Batterie mit Unterbrecher in Tätigkeit gesetzt wird. In den Primärkreis des Induktionsapparats ist ferner ein veränderlicher Widerstand R eingeschaltet, mit dessen Hilfe die Stärke des induzierenden Stromes und damit die Potentialdifferenz zwischen den Elektroden des Sekundärdrahts so weit herabgesetzt wird, dafs der Übergang der Funken zwischen den Elektroden aufhört. Die Funken setzen aber sofort wieder ein, wenn die Sendestation, um ein Signal zu geben, den ultravioletten Strahlen den Durchgang gewährt und diese in-

folgedessen die mit dem negativen Pol des Induktionsapparats verbundene Platinplatte treffen.

Schon in dieser einfachen Anordnung bietet der Apparat die Möglichkeit, den abgegebenen Signalen eine bestimmte Bedeutung zu verleihen: ein kurz andauernder Funkenstrom, der auftritt, wenn der Glasschirm der Sendestation nur für einen Augenblick entfernt wird, entspricht einem Punkt, ein länger andauernder Funkenstrom einem Strich des Morsealphabets. Will man die Funken nicht direkt beobachten, so kann man in den induzierten Stromkreis ein Telephon einschalten; solange der Funkenstrom andauert, gibt dasselbe einen Ton von sich, der stark genug sein kann, um allenthalben in einem grofsen Raum gehört zu werden. Statt vermittelst des Telephons kann man die Signale auch durch eine elektrische Klingel hörbar machen. Endlich ist es Zickler sogar gelungen, die Signale in die bleibenden Zeichen des Morseapparats zu übersetzen. In den Sekundärkreis des Induktionsapparats wurde ein empfindliches Telegraphenrelais eingeschaltet, dessen Anker jedesmal, wenn innerhalb des Behälters *r* Funken übersprangen, den Strom einer Lokalbatterie und eines Morseempfängers schlofs und denselben so lange geschlossen hielt, als der Funkenstrom andauerte. Derselbe Zweck läfst sich ferner mit derjenigen Anordnung erreichen, die der Telegraphie durch elektrische Wellen zu Grunde liegt. In der Nähe der beschriebenen Apparate befindet sich ein Kohärer, der auf die gewöhnliche Weise mit einem galvanischen Element, einem Hammer zur Wiederherstellung des Widerstandes und einem Morseschreiber oder einem Relais verbunden ist, welch letzteres dann den Stromkreis eines Morseapparats schliefst und unterbricht. Die durch die ultravioletten Strahlen ausgelösten Funken spielen bei dieser Anordnung die gleiche Rolle wie die Funken des Oszillators einer Sendestation für elektrische Wellen. Durch weitere Versuche gedenkt Zickler festzustellen, welche Anordnung sich für die Registrierung der Signale am besten eignet und welches Gas man in den Elektrodenbehälter einführen mufs, um die besten Wirkungen zu bekommen.

Nach vorbereitenden Laboratoriumsversuchen nahm Zickler mit seinem System in gröfserem Umfange Proben vor. Am 25. April 1898 wurden auf 50 m Entfernung zwischen den beiden Stationen gute Resultate erhalten. Der Gasdruck in dem Elektrodenbehälter betrug 250 mm Quecksilber, die Bogenlampe wurde durch einen Strom von 26 Ampère gespeist und die Kohlen derselben

waren ungefähr 1 cm weit voneinander entfernt. Am 6. Mai wurden die beiden Stationen 200 m weit voneinander aufgestellt und trotz des feuchten Wetters (die relative Feuchtigkeit betrug 0,73; jeden Augenblick drohte Regen) eine Übertragung erzielt. Am 5. und 6. Oktober desselben Jahres konnte Zickler seine Versuche unter Benutzung eines Schuckertschen Scheinwerfers mit Konkavspiegel von 80 cm Öffnung und 20 cm Brennweite fortsetzen; der Lichtbogen, der sich im Brennpunkt des Spiegels befand, wurde durch einen Strom von 60 Ampère erzeugt. Der Abstand zwischen den Elektroden des Empfangsapparats betrug ungefähr 5 mm, der Druck in dem Empfangsapparat wurde anfangs auf 340 mm, später auf 200 mm Quecksilber erniedrigt. Das Ergebnis der Versuche war sehr ermutigend, denn die Übertragung gelang bis auf mehr als 1300 m Entfernung zwischen den beiden Stationen. Trotzdem hat Zickler, so weit bekannt, seine Versuche nicht fortgesetzt und auch nichts weiter darüber veröffentlicht.

Eine Vorrichtung, welche für die Übertragung von Signalen durch ultraviolette Strahlen anscheinend sehr gut geeignet ist, wurde von Sella[10]) angegeben. Schaltet man in einen der Leiter, welche die Pole einer Elektrisiermaschine mit zwei Elektroden verbinden, zwischen denen man die Funken überspringen läfst, ein Telephon, so wird in demselben jedesmal, wenn die Maschine funktioniert, ein Ton hörbar. Dies kann nicht überraschen, denn der veränderliche Strom, der die Spule des Telephons durchfliefst, erreicht seine gröfste Intensität in dem Augenblick, in dem ein Funke überspringt; in diesem Augenblick erleidet also die Telephonmembran die stärkste Einbiegung; die Schwingungszahl des Tones ist durch die Anzahl der in der Sekunde zwischen den beiden Elektroden überspringenden Funken bestimmt. Läfst man nun bei dieser Anordnung auf die negative Elektrode ultraviolette Strahlen fallen, so erleidet der in dem Telephon hörbare Ton eine bedeutende Veränderung; werden die Strahlen abgeschnitten, so nimmt der Ton seinen ursprünglichen Charakter wieder an.

Wir wollen nun annehmen, die Strahlung werde vermittelst einer zwischen der Strahlenquelle und der Funkenbahn befindlichen Scheibe, die sich gleichförmig um ihre Achse dreht und nahe zu ihrem Umfange mit einer Anzahl gleichweit voneinander entfernter Löcher versehen ist, periodisch unterbrochen. Folgen die Unterbrechungen sehr langsam aufeinander, so hört man im

Telephon zwei mehr oder minder rasch miteinander abwechselnde Töne, von denen der eine entsteht, wenn die Strahlen die Kathode treffen, der andere dagegen, wenn die Strahlung unterbrochen ist. Dreht man die Scheibe rascher, so ist schliefslich der Wechsel der beiden Töne nicht mehr bemerkbar und man hört statt dessen einen neuen, je nach der Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe mehr oder weniger hohen Ton. Die Schwingungszahl dieses Tones in der Sekunde ist durch die Häufigkeit bestimmt, mit der in der gleichen Zeit die Strahlen die Kathode treffen. Stellt man sich nun vor, die ultravioletten Strahlen kämen von einer entfernten Station, wo ihnen abwechselnd freier Lauf gelassen oder durch eine Glasplatte der Weg abgeschnitten wird, so hat man in dieser von Sella angegebenen Vorrichtung alles, was zur Übertragung von Signalen, zur Aufnahme derselben vermittelst des Telephons und zur Interpretation derselben nach dem Morsealphabet notwendig ist.

Der von dem Telephon erzeugte Ton läfst sich sogar dermafsen verstärken, dafs man ihn an jeder Stelle eines grofsen Saales hören kann. Es genügt zu diesem Zwecke, das Telephon, anstatt direkt in den Entladungskreis, in den Primärkreis eines Induktionsapparats einzuschalten, dessen Sekundärdraht den negativen Pol der Elektrisiermaschine mit der betreffenden Elektrode verbindet. Ein konischer Reflektor, der ganz einfach aus Pappdeckel bestehen kann und gegen den Zuhörer gerichtet wird, vergröfsert die Hörweite der Töne.

Eine andere Anordnung, die vielleicht ebenfalls für die Telegraphie durch ultraviolette Strahlen verwertbar sein könnte, wurde von Dussaud[11]) beschrieben. Derselbe läfst die zur Empfangsstation gelangenden ultravioletten Strahlen auf eine fluoreszierende Substanz fallen. Derartige Substanzen leuchten bekanntlich, wenn sie von gewissen Strahlen, namentlich von den ultravioletten, getroffen werden. Das Licht, welches dann von der Substanz ausgesandt wird, wirkt auf einen Selenapparat — wie wir ihn später kennen lernen werden —, vermittelst dessen Änderungen in der Intensität eines Lichtstrahles sich in Änderungen der Stärke eines elektrischen Stromes umsetzen; diese wiederum werden durch ein Telephon zur Wahrnehmung gebracht. Gehen also von der Sendestation periodisch unterbrochene ultraviolette Strahlen aus, so läfst das Telephon der Empfangsstation einen Ton hören.

Es liefse sich leicht die Einrichtung treffen, dafs die Intensi-

tätsänderungen der von der Sendestation ausgehenden Strahlung durch das gesprochene Wort hervorgebracht würden. In diesem Falle würde der Apparat der Empfangsstation jedes Wort getreu wiedergeben. Wie wir im nächsten Kapitel sehen werden, ist dieses Ergebnis auf etwas andere Weise tatsächlich erreicht worden.

A. Righi.

Literaturangaben.

[1]) Hertz, Wied. Ann. Bd. 31, S. 983 [1887].

[2]) E. Wiedemann und Ebert, Wied. Ann. Bd. 33, S. 241 [1888]; Bd. 35, S. 209 [1888].

[3]) Hallwachs, Wied. Ann. Bd. 33, S. 301 [1888].

[4]) Righi, Mem. della R. Acc. di Bologna, Ser. 4, Bd. 9, S. 369 [1888]; Atti del R. Ist. Veneto, Ser. 6, Bd. 7 [1889]; Mem. della R. Acc. di Bologna, Ser. 4, Bd. 10, S. 85 [1890].

[5]) Stoletow, Compt. rend. Bd. 106, S. 1149 [1888].

[6]) Elster und Geitel, Wied. Ann. Bd. 39, S. 332 [1890].

[7]) Sella u. Majorana, Rend. della R. Acc. dei Lincei, 12. April 1896.

[8]) Righi, Atti del R. Ist. Veneto, Ser. 6, Bd. 7 [1889].

[9]) Zickler, Elektrotechn. Zeitschr. Bd. 19, S. 474 u. 487 [1898].

[10]) Sella, Nuovo Cimento, Ser. 4, Bd. 8, S. 261 [1898].

[11]) Dussaud, Compt. rend. Bd. 128, S. 171 [1899].

Zweites Kapitel.

Die Wiedergabe von Tönen durch das Licht.

63. Telephon und Mikrophon.

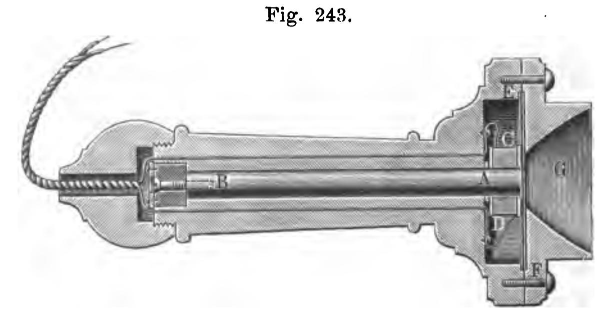
Während das im vorigen Paragraphen beschriebene Zicklersche System sich der überaus kurzen Wellen des ultravioletten Lichtes bedient, um Signale in die Ferne zu übertragen, beruht das System, mit dem wir uns nunmehr in erster Linie zu beschäftigen haben, auf der Anwendung der Wellen des sichtbaren Lichtes. Hinsichtlich der Länge der benutzten Wellen steht dasselbe also zwischen dem System von Zickler und denjenigen von Marconi, Braun u. a.; allen diesen Systemen gemeinsam ist jedoch die Verwendung von Ätherwellen als Mittel der Übertragung. Bevor wir indessen mit der Beschreibung der insbesondere von Bell und Simon speziell für diesen Zweck geschaffenen Vorrichtungen beginnen, wird es zweckmäſsig sein, uns die Konstruktion einiger

bekannter Apparate, denen wir als Teilen dieser Vorrichtungen begegnen werden, ins Gedächtnis zurückzurufen.

Einer dieser Apparate ist das elektromagnetische Telephon, als dessen Erfinder Alexander Graham Bell gilt. Auf die Geschichte dieses Apparats, die uns hier zu weit führen würde, wollen wir nicht eingehen; wir beschränken uns auf die Beschreibung der heute üblichen Form desselben.

Die wichtigsten Bestandteile des Telephons sind ein Stahlmagnet *AB* (Fig. 243), dessen eines Ende von einer kleinen Spule *CD* aus isoliertem Kupferdraht umgeben ist, sowie eine an ihrem Umfang gefafste Platte *EF* aus dünnem Eisenblech. Der Pol *A* des Magneten befindet sich in sehr geringer Entfernung von

Fig. 243.



der Mitte der Platte und erteilt dieser durch seine Anziehung eine leichte Biegung. Die Enden der Spule sind mit zwei Drähten verbunden, die aus der, in der Regel aus Holz oder Ebonit hergestellten Hülle des Instruments herausführen. Ein trichterförmig erweiterter Aufsatz *G* auf derselben läfst von der Eisenplatte nur den mittleren Teil sichtbar.

Zwei derartige Telephone, deren Spulen so miteinander verbunden sind, dafs sie einen einzigen Stromkreis bilden, genügen zum Austausch von Gesprächen zwischen entfernten Orten. Ein vor der Öffnung *G* des einen Telephons erzeugter Ton wird von dem anderen wiedergegeben, in der gleichen Tonhöhe und Klangfarbe und, wenn auch mit geringerer Stärke, doch deutlich genug, dafs jemand, der das Telephon ans Ohr hält, ihn zu hören vermag.

Um uns klar zu machen, auf welche Weise diese Wirkung zu stande kommt, wollen wir die Vorgänge in dem Sendetelephon, in welches man hineinspricht oder vor welchem der wiederzugebende Ton erzeugt wird, und im Empfangstelephon, welches die Sprache oder den Ton wiedergibt, gesondert betrachten. Für das

Verständnis beider Vorgänge genügt übrigens das in § 15, 16 und 20 Dargelegte.

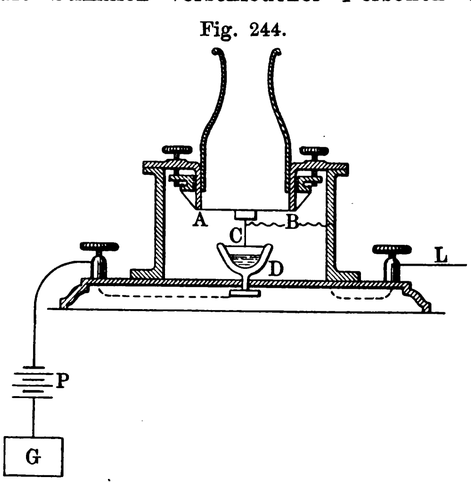
Wird in der Nähe des Sende- oder Sprechtelephons ein Ton erzeugt, so wird die Platte des Telephons durch die Änderungen des Luftdrucks, welche der tönende Körper hervorbringt, in Schwingungen versetzt. Sie folgt diesen Druckänderungen mit solcher Treue, dafs nach Aufhören des ursprünglichen Tones eine Wiederholung ihrer Bewegungen einen Ton erzeugen würde, der bis auf die im allgemeinen geringere Intensität mit dem ursprünglichen vollkommen übereinstimmen würde. Derartiges leistet der Phonograph; beim Telephon ist eine Wiederholung der Schwingungen durch dieselbe Platte nicht möglich, dagegen werden die Schwingungen des einen Telephons zur gleichen Zeit, zu der sie stattfinden, durch die Platte des anderen nachgeahmt und es wird dadurch auf der Empfangsstation ein Ton erzeugt, der sich von dem ursprünglichen nicht unterscheidet. Dies geschieht folgendermafsen.

Jede schwingende Bewegung der Platte *EF* verändert den kleinen Abstand zwischen derselben und dem Magneten *AB*. Dadurch ändert sich die magnetische Polarität, die infolge der Influenz seitens des Magneten in der Platte vorhanden ist, und diese Änderung übt wiederum auch auf die Verteilung des Magnetismus innerhalb des Magneten eine Rückwirkung aus, die eine Änderung der magnetischen Kraftströmung innerhalb der Spule und die Entstehung eines induzierten elektrischen Stromes in dem Drahte dieser letzteren zur Folge hat. Die Richtung dieses Stromes ist verschieden, je nachdem die Platte sich dem Magneten nähert oder sich von ihm entfernt; die Stärke des Stromes in einem bestimmten Augenblick hängt von der jeweiligen Entfernung zwischen der schwingenden Platte und dem Magneten ab, sowie von der Geschwindigkeit, mit welcher die Platte sich gerade bewegt.

Diese Ströme werden nun durch die Spule des anderen Telephons geleitet. Hier verändern sie das von dem Magneten dieses Telephons herrührende Magnetfeld und die Kraft, welche der Platte des Telephons eine Biegung zu erteilen strebt. Je nach der Richtung der Ströme besteht die Änderung in einer Zu- oder Abnahme der Polarität des Magneten; die Platte wird also im einen Falle noch stärker gegen den Magneten gebogen, im anderen etwas losgelassen, und die Gröfse der einen wie der anderen Bewegung richtet sich nach der Intensität des Stromes. Die Be-

wegungen des Empfangstelephons müssen also die Schwingungen der Platte des Sendetelephons getreulich nachahmen, und wenn die beiden Apparate in der richtigen Weise miteinander verbunden sind, so mufs jede Annäherung der Platte des Sendetelephons an ihren Magneten auch in dem Empfangstelephon eine Bewegung im gleichen Sinne zur Folge haben; je nachdem die erstere sich mehr oder weniger rasch bewegt, mufs das gleiche auch bei der Platte des Empfangstelephons stattfinden. Auf Grund der Gesetze des Elektromagnetismus und der Induktion läfst sich sogar beweisen, dafs bis auf die Amplitude die Schwingungen des zweiten Instruments in der Tat eine getreue Nachahmung derjenigen des ersten sein müssen. Die Erfahrung bestätigt dies bis in die geringfügigsten Besonderheiten der Klangfarbe, durch welche sich die Stimmen verschiedener Personen voneinander unterscheiden.

Fig. 244.



Wären die beiden Apparate nicht in der bisher angenommenen Weise, sondern umgekehrt miteinander verbunden, so würde allerdings jede Annäherung der Platte des Sendetelephons an ihren Magneten eine entgegengesetzte Bewegung der Platte des anderen Telephons zur Folge haben, aber diese Umkehrung würde die Wiedergabe der Töne nicht merklich beeinflussen. Es ist also nicht notwendig, die Verbindungen in einem bestimmten Sinne vorzunehmen.

Als Empfangsapparat hat das beschriebene Telephon seit seiner Erfindung seinen Platz behauptet; als Sendeapparat dagegen läfst sich dasselbe durch andere Vorrichtungen ersetzen, die auf abweichenden Grundlagen beruhen. Besonders gute Dienste leistet der unter dem Namen Mikrophon bekannte Sendeapparat mit Kohlekontakt, der in dem Empfangstelephon die intensivsten Töne zu erhalten gestattet. Um besser zu verstehen, auf welche Weise dieser Apparat funktioniert, wollen wir zuerst den Bellschen Übertrager mit Flüssigkeitskontakt betrachten. Derselbe ist in

Fig. 244 abgebildet; an einer Membran *AB* ist ein Platindraht *C* befestigt, von dem eine Leitung *L* zum Empfangstelephon führt; ein kleiner metallener Napf *D*, der einen Elektrolyten enthält, steht mit einem Pol einer Batterie *P* in Verbindung, deren anderer Pol zur Erde abgeleitet ist. Das Telephon der Empfangsstation ist einerseits mit der Linie, anderseits ebenfalls mit der Erde verbunden. Statt der doppelten Erdverbindung kann auch ein zweiter Draht zwischen den Stationen den Stromkreis vervollständigen. Spricht man gegen die Membran, so gerät sie in Schwingung und es ändert sich die Tiefe, bis zu welcher der Draht *C* in den Napf *D* eintaucht. Damit ändert sich der Widerstand des Stromkreises und die Stärke des Stromes, welcher die Spule des Telephons durchfliefst; die Platte des letzteren gerät in Schwingungen, welche den Schwingungen der Membran des Sendeapparats entsprechen. In der Praxis hat jedoch dieser Apparat gewisse Mängel. Frei von denselben ist der Sendeapparat mit Kohlekontakt, der sich von jenem nur dadurch unterscheidet, dafs sich an Stelle von *C* und *D* zwei einander berührende Kohlestücke befinden. Die Schwingungen der Membran *AB* verändern den Druck zwischen den beiden Kohlestücken und damit den Zustand der Berührungsstelle; dadurch ändert sich auch der elektrische Leitungswiderstand. Alles übrige vollzieht sich wie vorher.

Die Kohlestücke können verschiedene Form und Gröfse haben; statt zweier Kontaktstücke findet man deren auch mehrere. Besonders wirksam ist das Mikrophon mit Kohlepulver oder mit Graphit, welches heute am verbreitetsten ist und die Töne mit grofser Klarheit und Intensität wiedergibt. Der Verfasser dieses Abschnittes erzielte schon im Jahre 1878 vermittelst eines Senders mit Graphitkontakt und eines dem Bellschen ähnlichen Empfängers eine so laute Wiedergabe der Töne, dafs diese an allen Stellen eines grofsen Saales deutlich gehört wurden, trotzdem die Sendestation 47 km weit von der Empfangsstation entfernt war[1]). Das erste Kohletelephon wurde im Jahre 1878 von Edison konstruiert. Ungefähr um die gleiche Zeit wurde dasselbe auch von Hughes, dem bekannten Urheber des Typendrucktelegraphen, erfunden und mit dem Namen Mikrophon belegt, der allgemeine Annahme gefunden hat.

Bei dem später zu beschreibenden System der drahtlosen Telephonie werden wir ebenfalls auf der Sendestation einem Mikrophon, auf der Empfangsstation einem Bellschen Telephon

begegnen; die Verbindung zwischen den beiden Stationen wird aber nicht durch einen oder mehrere Drähte, sondern, unter Benutzung einer Eigentümlichkeit des Selens, durch ein Bündel Lichtstrahlen vermittelt.

64. Die Eigenschaften des Selens.

Das Selen, ein in chemischer Beziehung dem Schwefel verwandter Körper, existiert in zwei Modifikationen, welche sehr verschiedene physikalische Eigenschaften besitzen. Im Handel findet man dasselbe in glasartigem Zustande, mit tiefbrauner, fast schwarzer Farbe, in sehr dünnen Schichten mit roter Farbe durchsichtig, mit glatter, spiegelnder Fläche; in diesem Zustande ist es wie das Glas ein schlechter Leiter der Elektrizität. Es läſst sich schmelzen und zeigt auch nach der Wiedererstarrung die gleichen Eigenschaften. Erhält man jedoch das Selen längere Zeit hindurch auf einer wenig unterhalb seines Schmelzpunkts liegenden Temperatur, etwa auf 100°, so erleidet es eine Umwandlung und geht in den metallischen Zustand über. In diesem Zustande besitzt es eine kristallinische Struktur und eine graue, graphitähnliche Farbe; es ist auch in den dünnsten Schichten undurchsichtig und hat ein gewisses Leitungsvermögen für die Elektrizität. In dieser Modifikation zeigt das Selen einige merkwürdige Eigenschaften, von denen wir nunmehr kurz berichten wollen.

Im Jahre 1873 wollte Willoughby Smith aus kleinen Stäben von kristallinischem Selen hohe elektrische Widerstände herstellen; aber er wurde bald gewahr, daſs diese Widerstände überaus veränderlich waren. Ein Assistent von Smith, May[2]), erkannte die Ursache dieser scheinbar launenhaften Veränderungen darin, daſs das Selen im Dunkeln einen gröſseren Widerstand besitzt als im Licht. Mit anderen Worten steigt die elektrische Leitfähigkeit des kristallinischen Selens, wenn man Lichtstrahlen auf dasselbe fallen läſst.

Zahlreiche Untersuchungen, die von einer Reihe von Physikern über diese Erscheinung angestellt wurden, ergaben, daſs von den Spektralfarben Rot und Orange diejenigen sind, welche die stärkste Wirkung hervorbringen, während sowohl die weniger brechbaren ultraroten als die brechbareren Strahlen vom Grün an aufwärts die Leitfähigkeit immer weniger beeinflussen. Ferner fand es sich, daſs bei der Belichtung der Leitungswiderstand fast augenblick-

lich abnimmt, während der durch das Licht geweckte Zuwachs an Leitfähigkeit nach dem Aufhören der Belichtung nicht sofort verschwindet.

Auf verschiedene Weise hat man die geschilderte Erscheinung zu erklären versucht. Am nächsten lag die Annahme, ein Teil des Selens sei trotz der vorhergegangenen Erwärmung noch im glasigen Zustande geblieben und werde nun durch die Belichtung vorübergehend in kristallinisches Selen verwandelt; aber gegen diese Annahme machten sich gewichtige Bedenken geltend. Nach einer anderen Auffassung soll das Licht überhaupt nicht auf das Selen selbst einwirken, sondern auf die Verbindungen des Selens mit dem Metall, das die Elektroden des Apparats, der sogenannten Selenzelle, bildet. Diese Verbindungen entstehen naturgemäſs zunächst an der Berührungsstelle des Metalls mit dem Selen, lösen sich aber in der Masse des letzteren, und ihre Menge, so wurde angenommen, erleidet durch das Licht eine Veränderung. Eine sichere Entscheidung betreffs der Ursache des photoelektrischen Vorganges im Selen ist indessen bis heute noch nicht möglich gewesen.

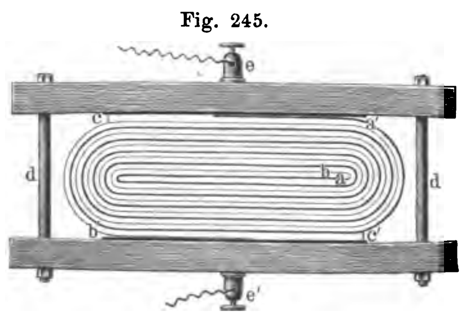
Das Vorhandensein chemischer Verbindungen in dem zu diesen Versuchen benutzten Selen ist deshalb wahrscheinlich, weil dasselbe, auch wenn es in einem vollkommen dunkeln Raume aufbewahrt wird, sich wie ein Elektrolyt verhält; wird es nämlich zwischen zwei verschiedene Metalle eingeschaltet, so erhält man ein richtiges galvanisches Element[3]). Es zeigt sich, daſs die elektromotorische Kraft eines solchen Elements bei Belichtung des Selens sich ändert, doch ist dieser photoelektrische Vorgang wahrscheinlich gänzlich unabhängig von dem zuvor betrachteten. Endlich wird auch die Potentialdifferenz, welche bei der Berührung zwischen krsitallinischem Selen und einem beliebigen Leiter auftritt, durch Belichtung verändert. Mit einem Kondensator, dessen eine Belegung durch das Selen und dessen andere, von jener nur durch eine überaus dünne Luftschicht getrennte Belegung durch ein beliebiges, für Licht teilweise durchlässiges Metall, z. B. durch ein Drahtnetz, gebildet ist, kann man deshalb den folgenden Versuch machen. Man stelle, während der Apparat sich im Dunkeln befindet, zwischen den Belegungen des Kondensators für einen Augenblick eine Verbindung her; belichtet man dann das Selen, so nimmt der Kondensator eine elektrische Ladung an; bringt man dagegen die beiden Belegungen miteinander in Verbindung, während der Apparat

sich im Lichte befindet, und schliefst dann das Licht aus, so treten auf den Belegungen des Kondensators ebenfalls elektrische Ladungen auf, die jedoch von entgegengesetztem Vorzeichen sind wie die im ersten Falle entstehenden[4]).

Andere eigentümliche Erscheinungen, welche das Selen darbietet, müssen wir der Kürze halber übergehen; für unseren Zweck am wichtigsten ist übrigens die durch Belichtung des Selens hervorgerufene Änderung seines elektrischen Leitungswiderstandes.

Kristallinisches Selen ist für das Licht beinahe ebenso undurchlässig wie die Metalle; der Einflufs des Lichtes beschränkt sich daher offenbar auf eine Oberflächenschicht. Um erhebliche Wirkungen zu bekommen, empfiehlt es sich deshalb, die Masse des Selens so viel als möglich zu verringern, oder mit anderen Worten, das Selen in möglichst dünner Schicht auszubreiten. Damit würde freilich der Leitungswiderstand des Selens selbst auf einen ungeheuren Betrag anwachsen; durch eine geeignete Gestalt der beiden Leiter, zwischen die das Selen eingeschlossen ist, läfst sich indessen dieser Übelstand wenigstens in gewissem Grade vermeiden. Die folgende von Mercadier[5]) angegebene Vorrichtung ist einfach und zugleich wirksam. Zwei lange Streifen aus dünnem Messing- oder Kupferblech, die durch einen Papierstreifen von gleicher Breite voneinander getrennt sind, werden zu einer Spirale aufgewickelt, so dafs ihre äufsere Gestalt einen Zylinder bildet, der in einer Art von Presse mittels der Schrauben *dd* (Fig. 245) flachgedrückt wird. In der Abbildung ist der Deutlichkeit halber einer der beiden Metallstreifen durch eine dünne Linie *bb'*, der andere durch eine dickere Linie *aa'* und der Papierstreifen durch den weifsen Raum *cc'* zwischen denselben dargestellt. Die beiden Metallstreifen bilden zwei Elektroden, die in den Klemmschrauben *ee'* endigen, voneinander aber isoliert sind; ob letzteres wirklich der Fall ist, läfst sich leicht vermittelst einer galvanischen Batterie und einer elektrischen Klingel prüfen. Eine der Endflächen des plattgedrückten Zylinders wird mit Feile oder Schmirgelpapier eben gearbeitet, darauf wird das Ganze erhitzt, bis beim Be-

Fig. 245.



streichen der Fläche mit einem Selenstäbchen dieses schmilzt und die Metallstreifen über das zwischen ihnen liegende Papier hinweg durch eine dünne, aber zusammenhängende Selenschicht miteinander verbindet. Der Apparat wird dann in einem Ofen erwärmt, wodurch das glasartige Selen sich in die kristallinische Modifikation umwandelt.

Eine andere, ebenso geeignete Anordnung erhält man, wenn man eine Anzahl rechteckiger Streifen von dünnem Kupferblech, durch Papierstreifen voneinander getrennt, so aufeinanderschichtet, dafs nach einer Seite die Enden aller Kupferstreifen von ungerader, nach der anderen Seite die Enden aller Streifen von gerader Ordnung über das Papier hinausragen. Die an jeder Seite herausragenden Streifen werden zu einem einzigen Leiter miteinander verbunden und eine der Querflächen des Ganzen wird wie bei der vorigen Anordnung mit einem Selenüberzug versehen. Trotz der geringen Dicke der Selenschicht ist bei dieser wie bei der vorigen Anordnung der Querschnitt derselben senkrecht zu der Richtung, in welcher sie von dem Strome durchflossen wird, durchaus nicht klein, weil als Breitseite dieses Querschnitts die ganze nutzbare Länge des zur Spirale aufgewickelten Streifens oder sämtlicher rechteckiger Streifen in Betracht kommt.

Bei einem derartigen Selenempfänger tritt das photoelektrische Phänomen sehr offenkundig hervor. Bildet man einen Stromkreis aus dem Selenempfänger, einer galvanischen Batterie und einem Galvanometer, so beobachtet man, dafs die Ablenkung der Nadel dieses letzteren bedeutend zunimmt, wenn das Selen vom Licht getroffen wird.

65. Photophon und Radiophonie.

Schon im Jahre 1878 kam Graham Bell, nachdem er das merkwürdige Verhalten des Selens unter der Einwirkung des Lichtes kennen gelernt hatte, auf den Gedanken, dasselbe vermittelst des Telephons näher zu studieren. Gemeinsam mit Sumner-Tainter unternahm er zu diesem Zwecke eine lange Reihe von Untersuchungen, deren Ergebnisse er der „American Association for the Advancement of Science“ im Jahre 1880 vorlegte. Diese Ergebnisse wollen wir hier in Kürze zusammenfassen.

Wir wollen annehmen, das Selen werde einer regelmäfsig intermittierenden Beleuchtung ausgesetzt, wie man sie z. B. erhält, wenn man den Weg der Lichtstrahlen zur Selenzelle durch eine

mit gleichweit voneinander entfernten Löchern versehene Scheibe unterbricht, die in gleichförmiger Drehung erhalten wird. Wird dann das Selen in den Stromkreis einer Batterie und eines Telephons eingeschaltet, so hört man in dem letzteren einen Ton, dessen Höhe von der Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe abhängt; die Schwingungszahl des Tones in einer Sekunde ist gleich der Zahl der Unterbrechungen, welche die Belichtung des Selens in der gleichen Zeit erfährt. Man kann dies auf die einfachste Art nachweisen, indem man vor die Scheibe die Mündung eines Rohres bringt, welchem durch einen Blasebalg ein Luftstrom zugeführt wird; dieser kann nämlich nur dann frei aus dem Rohre austreten, wenn gerade eines der Löcher der Scheibe sich davor befindet; daraus ergeben sich regelmäfsige Unterbrechungen des Luftstromes und es entsteht ein Ton, dessen Höhe genau die gleiche ist, wie diejenige des im Telephon hörbaren.

Die Erzeugung des Tones durch die Selenzelle ist nicht schwer zu verstehen. Jedesmal, wenn das Licht zu dem Selen gelangt, steigt die Leitfähigkeit dieses letzteren, in gleichem Mafse wächst die Stromstärke und die Anziehung, welche die Platte des Telephons erleidet; die letztere biegt sich weiter einwärts und die regelmäfsige Wiederholung dieses Vorganges in kurzen Intervallen mufs einen Ton erzeugen.

Macht man den Versuch mit Sonnenlicht und konzentriert dasselbe vermittelst einer Linse oder eines Brennspiegels auf die Selenzelle, so darf diese ziemlich weit von der intermittierenden Lichtquelle entfernt sein; noch bei 200 m Abstand erhält man im Telephon einen deutlichen Ton. Dient als Lichtquelle eine Kerzenflamme, so tritt der Ton ebenfalls auf, aber natürlich nur bei geringer Entfernung zwischen dem Licht und der Selenzelle.

Die geschilderte Anordnung kann als Grundlage eines Telegraphensystems dienen, welches keine Drahtleitung verlangt. Zur Zeichengebung bedarf es nur noch eines undurchsichtigen Schirms, der durch einen Hebel in Bewegung gesetzt werden kann, um nach Belieben die Strahlen abzuschneiden oder hindurchzulassen. Wird dieser Hebel nach Art eines Morsetasters gehandhabt, so entstehen im Empfangstelephon länger oder kürzer andauernde Töne, die den Strichen und Punkten des Morsealphabets entsprechen.

Die beiden amerikanischen Erfinder blieben jedoch bei diesem Erfolg nicht stehen; sie wufsten es dahin zu bringen, dafs das

mit dem Selen verbundene Telephon nicht allein musikalische Töne, sondern auch die in den Sendeapparat gesprochenen Worte wiederzugeben vermochte. Ihr optischer Telegraph war damit zu einem optischen Telephon, oder wie sie es nannten, zu einem Photophon geworden.

Um dieses Ziel zu erreichen, bedurfte es einer intermittierenden Belichtung des Selens, deren Schwankungen den durch den Schall des gesprochenen Wortes in der Luft erzeugten Druckschwankungen vollkommen entsprachen. Von den verschiedenen Mitteln, welche die beiden Erfinder zu diesem Zwecke versuchten, wollen wir nur zwei erwähnen. Das eine bestand darin, daſs sie als Lichtquelle eine kleine Gasflamme benutzten, die sie mit der bekannten manometrischen Kapsel von König verbanden. Die Membran, welche die Kapsel in zwei Kammern scheidet, wird durch die in der Nähe gesprochenen Worte in Schwingungen versetzt, die sich dem durch die eine Kammer strömenden Leuchtgas mitteilen und in dem Licht der Flamme Schwankungen hervorrufen, welche den Schallschwingungen vollkommen entsprechen. Das Licht einer solchen Flamme läſst man nun auf das Selen fallen. Ersetzt man, wie das neuerdings geschehen ist, das Leuchtgas durch Acetylen, so erhält man noch bessere Resultate.

Für erhebliche Entfernungen zwischen dem Sendeapparat und dem Selenempfänger ist jedoch ein anderes Mittel besser geeignet. Man spricht gegen eine kreisförmige Platte, die nach Art der schwingenden Platte eines Telephons mit ihrem Rand in einer Fassung sitzt. Diese Platte besteht indessen nicht aus Eisen, sondern aus Glimmer oder sehr dünnem Glase und ist auf der einen Seite versilbert. Sie schwingt ganz wie die Platte eines Sendetelephons, d. h. ihre Bewegungen entsprechen vollkommen den durch den Schall in der Luft erzeugten Druckänderungen. Auf diese Platte, die infolge ihrer Versilberung ganz wie ein Spiegel wirkt, wird durch eine Linse ein Bündel Lichtstrahlen konzentriert; eine zweite Linse fängt das von der Platte zurückgeworfene Bündel auf und richtet die auseinandergehenden Strahlen wieder parallel. Dieses Strahlenbündel ist es, welches auf die Selenzelle der Empfangsstation fällt und hier die Wiedergabe der Töne veranlaſst. Die versilberte Glas- oder Glimmerplatte, die im Ruhezustande eine ebene Fläche bildet, verwandelt sich nämlich während ihrer Schwingungen abwechselnd in einen Konvex- oder einen Konkavspiegel: unter solchen Umständen verlieren auch die Lichtstrahlen ihre par-

allele Richtung und werden bald konvergent, bald divergent, wodurch die Selenzelle im ersteren Falle stärker, im letzteren schwächer beleuchtet wird. Die Änderungen in der Belichtung des Selens stehen also mit den Formänderungen der schwingenden Platte in unmittelbarem Zusammenhang, und man begreift daher, daſs das mit dem Selen verbundene Telephon die auf der Sendestation gesprochenen Worte getreu wiederzugeben vermag.

Bei den Versuchen, die Bell und Tainter zwischen dem Laboratorium des ersteren und dem Franklin-Institute in Washington vornahmen, betrug die Entfernung zwischen den beiden Stationen 213 m. Die Übertragung der Worte gelang vollkommen; man darf also annehmen, daſs mit den besseren Mitteln, über die wir heute verfügen, auch auf weit gröſsere Entfernungen befriedigende Resultate erzielt werden können.

Im Verlauf ihrer Versuche mit dem Photophon bemerkten die beiden amerikanischen Physiker, daſs eine intermittierende Beleuchtung auch ohne Vermittelung des Selens Töne zu erzeugen vermag. Läſst man die Strahlen, die durch die Rotation einer durchlöcherten Scheibe intermittierend gemacht sind, auf einen beliebigen Körper fallen, so vernimmt man, wenn man diesem das Ohr nähert, einen Ton, dessen Stärke nur sehr gering zu sein pflegt und dessen Höhe durch die Schnelligkeit bestimmt ist, mit der die Unterbrechungen aufeinander folgen. Je nach der Natur des Körpers, der von den Strahlen getroffen wird, fällt die Stärke des Tones verschieden aus; allgemein läſst sich sagen, daſs Körper, welche die Strahlen reichlich absorbieren, auch die stärksten Töne geben. Aus den ungemein zahlreichen Versuchen, die von verschiedenen Physikern, namentlich von dem bereits erwähnten Mercadier, hierüber angestellt wurden, haben sich Schlüsse ergeben, die zu einer befriedigenden Erklärung dieser so merkwürdigen Erscheinungen führen. Anfangs herrschte die Meinung vor, das Tönen bei intermittierender Beleuchtung rühre von der abwechselnden Ausdehnung und Zusammenziehung her, die der belichtete Körper infolge der vorübergehenden Erwärmung durch die Strahlen und der nachfolgenden Abkühlung erleide. Heute indessen ist man der Ansicht, daſs nicht der von dem Licht getroffene Körper selbst, sondern die denselben einhüllende Luftschicht periodisch ihr Volumen ändert, indem sie sich durch Berührung mit dem absorbierenden Körper jedesmal, wenn dieser von den Strahlen getroffen wird, vorübergehend erwärmt. Auf alle Fälle begreift man, daſs es zur

Erzielung intensiver Wirkungen eines Körpers bedarf, der die auf ihn fallenden Strahlen stark absorbiert. Rufs oder beliebige Körper mit berufster Oberfläche geben in der Tat ziemlich starke Wirkungen.

Folgende von Mercadier herrührende Anordnung eignet sich für den Versuch. In ein am unteren Ende geschlossenes dünnwandiges Glasrohr bringt man einen berufsten Glimmerstreifen und verbindet das offene Ende des Glasrohres durch einen Gummischlauch mit einem Trichter oder mit der Stürze einer Trompete. Läfst man nun das Licht der Sonne oder des elektrischen Lichtbogens, das in der schon mehrfach beschriebenen Weise intermittierend gemacht ist, auf die Glasröhre fallen, so entsteht ein bis in einige Entfernung hörbarer Ton.

Diesen überaus einfachen Photophonempfänger hat dann Mercadier auch zur Wiedergabe der Sprache benutzt. Der Gummischlauch, welcher von dem Glasrohr ausgeht, in dem sich der berufste Glimmerstreifen befindet, wird in diesem Falle an das Ohr gehalten; die Intensitätsschwankungen der auf den Empfänger fallenden Strahlen werden natürlich nicht durch eine rotierende Scheibe, sondern durch den Sender mit schwingendem Spiegel hervorgebracht. Bis vor einiger Zeit war dieser Apparat unter den vielen für den gleichen Zweck erdachten derjenige, der die besten Ergebnisse lieferte; heute kann man das nicht mehr sagen. Gewisse, ungemein interessante Erscheinungen, die in letzter Zeit entdeckt wurden und von denen im nächsten Paragraphen die Rede sein wird, bilden die Grundlage für einen viel wirksameren photophonischen Übertrager.

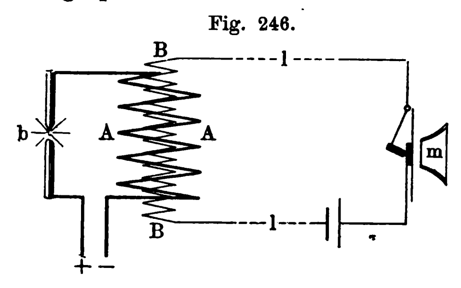
66. Die akustischen Eigenschaften des elektrischen Lichtbogens.

Den Ausgangspunkt der Studien, mit denen wir uns nunmehr zu beschäftigen haben, bildet eine Beobachtung von Simon[6]). Dieser bemerkte, dafs ein elektrischer Lichtbogen, der seinen Strom von einer Akkumulatorenbatterie erhielt, einen intensiven Ton von sich gab, wenn in einem benachbarten Raume ein Induktionsapparat funktionierte. Die Primärleitung dieses letzteren verlief eine Strecke weit in geringem Abstande parallel zur Speiseleitung des Lichtbogens; Simon erkannte deshalb sofort, dafs jener Ton von den induzierten Strömen herrührte, die infolge der Tätigkeit des mit dem Induktionsapparat verbundenen Unterbrechers in dem Strom-

kreis der elektrischen Lampe auftraten. Die Spulen des Differentialregulators der elektrischen Lampe, in denen man vielleicht die Ursache der Erscheinung gesucht hätte, hatten keinen merklichen Anteil an derselben, denn ein Lichtbogen zwischen zwei Kohlestäben ohne Regulator zeigte dasselbe Verhalten. Mit Recht wurde daher der elektrische Lichtbogen in dieser Eigenschaft als sprechender Lichtbogen und das von ihm ausgesandte Licht als sprechendes Licht bezeichnet.

Eine ähnliche akustische Erscheinung wird auch von Jervis-Smith[7]) beschrieben. Dieser hatte, während ein Serrinscher elektrischer Regulator durch den Strom einer Strafsenleitung gespeist wurde, in einem etwa 20 m davon entfernten Raume durch einen von der gleichen Leitung entnommenen Strom einen Induktionsapparat mit elektrolytischem Unterbrecher in Tätigkeit gesetzt. Der Lichtbogen gab einen Ton von sich, dessen Höhe mit derjenigen des von dem Unterbrecher ausgehenden Tones übereinstimmte und der so laut war, dafs er selbst in mehr als einem Meter Entfernung von der Lampe noch lästig wurde. Brachte man den Induktionsapparat in 1 engl. Meile Entfernung von der Lampe, so tönte diese zwar schwächer, aber immer noch bis auf 3 oder 4 m Abstand vollkommen vernehmlich. Durch Handhabung eines in den Primärkreis des Induktionsapparats eingeschalteten Telegraphentasters konnten in den Zeichen des Morsealphabets Signale übermittelt werden, und es erschien also möglich, diesen Vorgang in Städten mit elektrischem Leitungsnetz praktisch zu verwerten.

Fig. 246.



Simon änderte später seinen Versuch folgendermafsen ab. Der intermittierende Primärstrom des Induktionsapparats ist durch den veränderlichen Strom eines Mikrophonkreises ersetzt. In den Stromkreis der Lampe *b* (Fig. 246) wird eine der Wickelungen *AA* eines Induktionsapparats oder Transformators eingeschaltet, dessen andere Wickelung *BB* mit dem Mikrophon und einer Batterie verbunden ist. Die Drähte *ll* müssen lang genug sein, um die Aufstellung des Mikrophons in einem von dem Lichtbogen weit entfernten Raume zu gestatten. Töne, die man vor dem Mikrophon erzeugt, werden von dem Lichtbogen nicht nur in

ihrer Höhe, sondern auch in ihrer Klangfarbe getreu wiedergegeben; Worte, die in das Mikrophon hineingesprochen werden, sind deutlich zu hören, wenn man an das Ohr ein Hörrohr legt, das zu einem vor der Lichtquelle aufgestellten Trichter führt. Die auf solche Weise reproduzierten Töne sind allerdings nicht sehr intensiv; wir werden aber später sehen, dafs es gelungen ist, sie sogar intensiver zu machen als die Töne eines Telephons.

Das Ergebnis des geschilderten Versuches besteht, kurz ausgedrückt, darin, dafs der Lichtbogen Intensitätsschwankungen des Stromes in Schallwellen umsetzt. Unmittelbar nach diesem Versuche zeigte Simon, dafs der Lichtbogen auch die entgegengesetzte Umwandlung zu bewirken vermag, dafs er also aus einem sprechenden Lichtbogen zu einem lauschenden Lichtbogen werden kann. Man braucht zu diesem Zwecke nur in der beschriebenen Anordnung das Mikrophon mit seiner Batterie durch ein Telephon zu ersetzen. Hält man dieses ans Ohr, so hört man deutlich jeden Ton, der in der Nähe des Lichtbogens hervorgebracht wird, besonders wenn man vermittelst eines Schalltrichters oder einer ähnlichen Vorrichtung die Schallwellen auf den Lichtbogen konzentriert.

Die Erklärung, die Simon für diese Erscheinungen gegeben hat, drängt sich dem Geiste gewissermafsen von selbst auf. Die Induktion ruft in der Stärke des Stromes, der den Lichtbogen speist, Schwankungen hervor, und diese erzeugen in dem Volumen der leitenden Gase, welche die Flamme des elektrischen Lichtbogens bilden, ähnliche Schwankungen. Solche periodische Schwankungen eines Gasvolumens müssen natürlich in der umgebenden Luft Schallwellen wachrufen.

Auf zweierlei Weise ist es denkbar, dafs Schwankungen in der Stärke des Stromes, der den Lichtbogen unterhält, in dem Volumen der glühenden Gase des letzteren ähnliche Schwankungen hervorrufen. Man kann sich vorstellen, die Menge der durch den Strom in Dampf verwandelten Kohle erleide je nach der Stromstärke Änderungen, oder die Volumänderungen seien eine Folge der Schwankungen der Wärmemenge, die der Strom nach dem Jouleschen Gesetze entwickelt. Dafs die letztere Ursache, wenn nicht ausschliefslich, so doch in erster Linie wirksam ist, geht unter anderem aus der Tatsache hervor, dafs die Volumänderungen, die den Ton erzeugen, von entsprechenden Änderungen in der Intensität des ausgesandten Lichtes begleitet sind. So ist es Simon[8]) auch

gelungen, vermittelst eines Selenempfängers, auf den er in dem geschilderten Versuche die Strahlen des elektrischen Lichtbogens fallen liefs, die Töne des letzteren wiederzugeben. Spätere Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dafs nicht alle Schlufsfolgerungen, die sich aus der obigen Erklärungsweise ergeben, durch die Beobachtung bestätigt werden; man mufs deshalb annehmen, dafs diese Erklärungsweise, wenn sie auch in ihren Grundzügen zuzutreffen scheint, nicht vollständig ist. Die Verwendbarkeit des Lichtbogens als Sendeapparat läfst sich in Kürze darauf zurückführen, dafs die Volumänderungen der Gasmenge, die den Lichtbogen bildet, in diesem Widerstandsänderungen hervorruft, die ähnliche Folgen haben müssen wie die analogen Vorgänge im Mikrophon.

Die von Simon vorgeschlagene Erklärungsweise ist nicht die einzige geblieben. Hartmann[9]) nimmt an, dafs der Lichtbogen sich gewissermafsen aus einer Reihe von Stromfäden zusammensetzt, die von einer Kohle zur anderen führen; die Volumänderungen, von welchen die Schallwellen ausgehen, sollen lediglich die Folge der Änderungen sein, welche die elektrodynamische Wirkung zwischen jenen Fäden erfährt, wenn sich die Stromstärke ändert. Umgekehrt sollen nach Hartmann Schallwellen, die den Lichtbogen treffen, die Stromfäden verschieben und deformieren und dadurch induzierte Ströme wecken, die sich ihrerseits im Telephon kundgeben. Dafs derartige Vorgänge an den geschilderten Erscheinungen, besonders an dem Verhalten des Flammenbogens als Sendeapparat, einen gewissen Anteil haben können, läfst sich kaum in Abrede stellen. Eine Stütze erhält allerdings die Simonsche Auffassung dadurch, dafs eine Folgerung, die sich nach Braun[10]) aus derselben ergibt, durch den Versuch bestätigt wurde. Braun wies nämlich darauf hin, dafs man, wenn die Simonsche Auffassung richtig ist, mit einer bestimmten Amplitude der induzierten Stromschwingungen, die durch das Mikrophon über den Hauptstrom gelagert werden, so starke Wirkungen erzielen kann wie man nur will, falls man nur die Stärke des Hauptstroms im Lichtbogen genügend steigert. Dieses Verhalten ist eine Folge des Jouleschen Gesetzes und wäre nicht möglich, wenn die durch einen Strom entwickelte Wärmemenge einfach seiner Intensität und nicht, wie es tatsächlich der Fall ist, dem Quadrat derselben proportional wäre. Wenn es nun auch zweifelhaft ist, ob man dem Lichtbogen einen wirklichen Widerstand im gewöhnlichen Sinne zuschreiben

darf, so lassen doch die Versuche in ihrer Gesamtheit keinen Zweifel darüber, dafs die Töne stärker werden, wenn man unter Beibehaltung aller übrigen Bedingungen die Intensität des konstanten Stromes, der die Bogenlampe speist, erhöht.

Simon versuchte, freilich ohne Erfolg, ähnliche Erscheinungen wie die beschriebenen anstatt mit einem Lichtbogen auch mit einer Flamme, z. B. derjenigen eines Bunsenbrenners, zu erhalten. Glücklicher in dieser Beziehung war Ruhmer[11]). Die Versuchsanordnung, mit der er zum Ziele gelangte, ist in Fig. 247 dargestellt. Das Mikrophon *M* ist mit dem kurzen Draht eines Transformators *T* verbunden; von den Enden des langen Drahtes führt das eine zu dem Brenner *B*, das andere zu einem Platinplättchen *P*, welches von der Flamme getroffen wird. Die letztere gibt Töne, die man auf das Mikrophon einwirken läfst, mit geringer Intensität, aber vollkommen deutlich wieder.

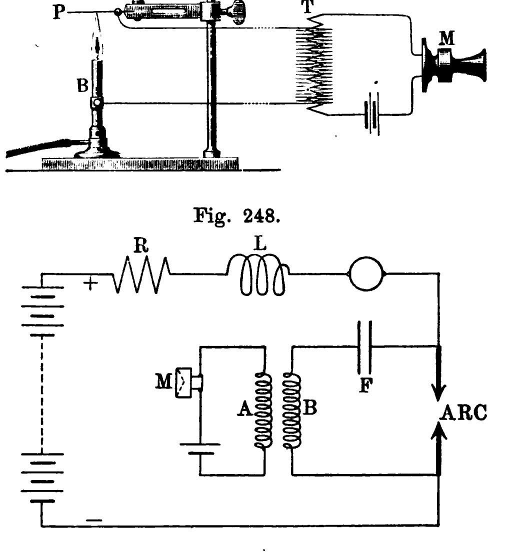


Fig. 247.

Fig. 248.

Einen erheblichen Fortschritt auf diesem Gebiete bezeichnen die Untersuchungen von Duddell[12]), der mit Hilfe neuer Schaltungsweisen dem Lichtbogen besonders intensive Töne entlockte. Eine dieser Schaltungen, bei welcher die vom Lichtbogen ausgehenden Worte bis auf etwa 6 m Entfernung hörbar waren, ist in Fig. 248 abgebildet. Das Mikrophon *M* ist mit der einen Windung eines Transformators *AB* verbunden; die andere Windung desselben ist aber nicht, wie bei der ursprünglichen Anordnung von Simon, unmittelbar in den Stromkreis der Bogenlampe eingeschaltet, sondern bildet eine durch einen Kondensator *F* unterbrochene Zweigleitung zu demselben. Zu dem Hauptkreise gehört aufser einem Widerstand *R*, vermittelst dessen die Stromstärke reguliert wird, eine Spule *L* von hoher Selbstinduktion, die ver-

hindern soll, dafs die in B erzeugten oszillatorischen Ströme ihren Weg durch die Akkumulatoren anstatt durch den Lichtbogen nehmen. Ein zur Spule aufgewundener Draht setzt nämlich, auch wenn sein wirklicher Widerstand für einen konstanten Strom nur gering ist, infolge der in ihm auftretenden elektromotorischen Kräfte der Induktion, einem veränderlichen Strome einen aufserordentlich hohen scheinbaren Widerstand entgegen.

Eine ebenso wirksame Anordnung, die Duddell benutzte, wenn der Bogen nicht als Empfänger, sondern als Tonübertrager

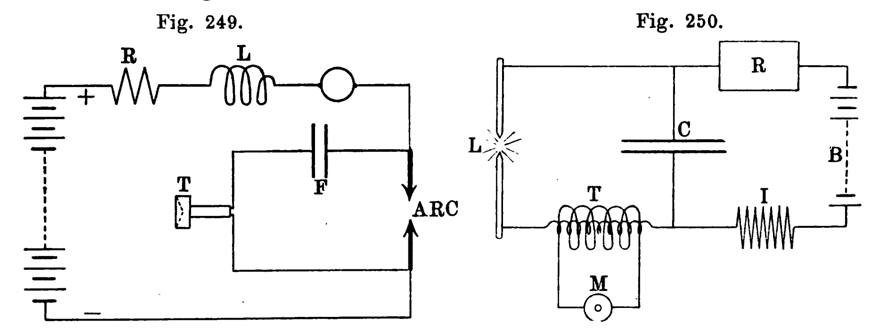


Fig. 249. Fig. 250.

dienen soll, ist in Fig. 249 skizziert. Das Telephon T ist unter Zwischenschaltung eines Kondensators F vom Lichtbogen abgezweigt.

Die Duddellsche Schaltungsweise ist besonders vorteilhaft, weil sie verhindert, dafs die oszillatorischen Ströme, die auf den Lichtbogen einwirken sollen, den ganzen Stromkreis durchlaufen und dadurch unnötig geschwächt werden. Nicht minder wirksam, und zwar aus dem gleichen Grunde, ist die folgende, von Simon angegebene Schaltung (Fig. 250). Der Stromkreis der Bogenlampe L enthält aufser der Akkumulatorenbatterie B und einem Widerstand R eine hohe Selbstinduktion I und die kurze Wickelung eines Transformators T, dessen langer Draht mit dem Mikrophon M verbunden ist. Zwischen dem Transformator und der Spule I ist von dem Stromkreis ein Draht abgezweigt, der zu einer der Belegungen eines grofsen Kondensators C führt, dessen andere Belegung an einer jenseits der Spule I zwischen der Batterie und der Bogenlampe befindlichen Stelle mit dem Hauptstromkreis verbunden ist. Der Kondensator trägt wesentlich zur Steigerung des Effektes bei. Ebenso wie die Duddellsche Schaltung ist die Simonsche auch dann vorteilhaft, wenn der Lichtbogen nicht durch

eine Akkumulatorenbatterie, sondern durch den Stromkreis einer Dynamomaschine gespeist wird.

Aufser den beschriebenen Schaltungen sind noch eine Reihe anderer vorgeschlagen worden. Gute Resultate erhält man z. B. mit der folgenden, die unlängst von Simon angegeben wurde. Das Mikrophon M (Fig. 251) befindet sich in einer vom Hauptkreise abgezweigten Leitung; B ist die Stromquelle für Gleichstrom, C ein Kondensator, R_1 und R_2 sind Widerstände, L_1 und L_2 sind Selbstinduktionen von geeigneter Gröfse. Einfachere Schaltungen werden von Ruhmer empfohlen. Ist die Potentialdifferenz der Stromquelle und die Intensität des Stromes, durch welchen die Bogenlampe gespeist wird, gegeben, so liefert nach den Untersuchungen von Ruhmer sowie von Simon ein bestimmtes Transformationsverhältnis die besten Resultate. Man benutzt deshalb zweckmäfsig einen Transformator, bei dem die Zahl der Windungen des einen

Fig. 251.

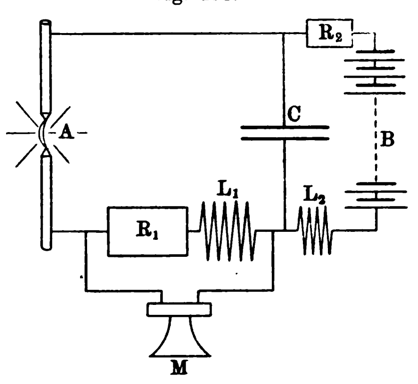
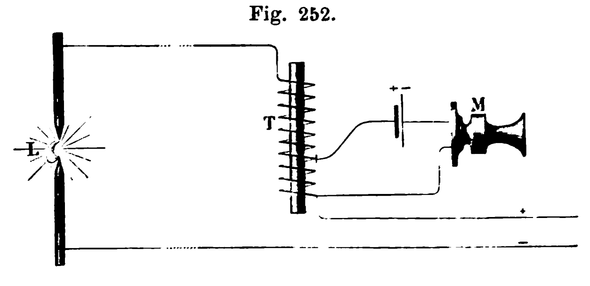


Fig. 252.

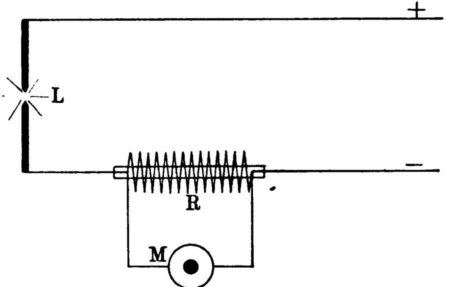


Stromkreises und damit das Transformationsverhältnis nach Bedarf verändert werden kann. Für sehr geeignet hält Ruhmer einen Transformator mit einfacher Wickelung. Der Strom der Bogenlampe L durchfliefst sämtliche Windungen des Transformators T (Fig. 252), aber nur ein Teil derselben ist in den Stromkreis des Mikrophons M eingeschaltet. Ist das Transformationsverhältnis gleich Eins, so geht diese Schaltung in diejenige der Fig. 253 (a. f. S.) über, die gleichzeitig von Ruhmer und von Simon angewendet wurde. Dieselbe empfiehlt sich durch ihre Einfachheit — bei passendem

Widerstand der Spule ist eine besondere Batterie für das Mikrophon überflüssig — wie auch durch ihre Leistungsfähigkeit. *L* ist die Lampe, *R* die Spule, die in den Hauptstromkreis eingeschaltet und von deren Enden der Stromkreis des Mikrophons *M* abgezweigt ist.

Die beschriebenen Schaltungen (mit denen übrigens durchaus noch nicht alle Möglichkeiten erschöpft sind) lassen sich nach dem Vorgange von Simon[13]) in zwei Gruppen ordnen. Bei der einen Gruppe, zu der auch die ursprüngliche Anordnung gehört, wirkt das Mikrophon durch Induktion auf den Stromkreis der Bogenlampe, bei der anderen wirkt dasselbe auf einen von der Hauptleitung abgezweigten Kreis. Sowohl mit Schaltungen der einen wie der anderen Gruppe lassen sich gute Resultate erzielen; dennoch scheint die zweite Gruppe der ersten vorzuziehen zu sein. Dieselbe bietet in der Tat zwei Vorteile: man braucht keine besondere Batterie für das Mikrophon und auch der Transformator wird überflüssig. Dieser letztere Umstand ist besonders wichtig, denn bei den Schaltungen mit Transformator sind die Stärke der erzeugten Töne und die genaue Wiedergabe der Klangfarbe zwei Aufgaben, die nicht gleichzeitig in demselben Umfange gelöst werden können, sondern in gewissem Grade sich gegenseitig ausschliefsen.

Fig. 253.



Um von dem Bogen intensive Töne zu gewinnen, mufs man demselben die gröfstmögliche Länge geben. Duddell brachte es dahin, Lichtbogen von 10 cm Länge zu erhalten, zu deren Erzeugung eine Potentialdifferenz von 200 Volt notwendig war; aber auch mit 2 bis 3 cm Abstand zwischen den Kohlenspitzen lassen sich, besonders mit Dochtkohlen, die mit einer Salzlösung getränkt sind, beträchtliche Wirkungen erzielen. Die Erzeugung starker Töne erfordert ferner, wie ohne weiteres verständlich ist, auch eine möglichst grofse Intensität der Mikrophonströme. Da nun jedes Mikrophon nicht mehr als eine bestimmte Stromstärke ohne Schaden vertragen kann, so empfiehlt es sich, mehrere Mikrophone parallel zu schalten, den Strom also auf dieselben zu verteilen; nur mufs dann nach Ruhmer jedes Mikrophon einen besonderen Trans-

formationskreis haben. Sonst kann es nämlich, da die verschiedenen Mikrophone ungleiche Widerstände besitzen, leicht geschehen, dafs die von jedem von ihnen hervorgerufenen Stromschwankungen in dem Lampenkreise durch die veränderte Verteilung des Stromes auf die verschiedenen Zweigleitungen kompensiert werden.

Rührt der Strom, durch welchen die Bogenlampe gespeist wird, von einer Dynamomaschine her, so kann man die Stromschwankungen, welche den Bogen zum Sprechen bringen, dadurch hervorrufen, dafs man das Mikrophon anstatt auf den Stromleiter der Lampe auf das Magnetfeld der Dynamomaschine selbst einwirken läfst. Wie bekannt, hat jede Dynamomaschine einen Elektromagneten von besonderer Gestalt, der zwischen den Polen eines festen Elektromagneten rasche Umdrehungen vollführt. Der feste Elektromagnet, dessen Windungen von einem elektrischen Strom durchflossen werden, erzeugt ein intensives Magnetfeld und dieses läfst in dem rotierenden Stromkreise einen induzierten Strom entstehen, der auf verschiedene Weise verwertet wird. Offenbar mufs nun jede Änderung der Stärke des Magnetfeldes eine entsprechende Änderung in der Stärke des von der Maschine erzeugten Stromes zur Folge haben, und wenn es das Mikrophon ist, welches die erforderlichen Änderungen der Feldstärke veranlafst, so mufs der durch die Dynamomaschine gespeiste Lichtbogen Töne, und zwar aller Voraussicht nach laute Töne, von sich geben. Um die Änderungen des Magnetfeldes zu erhalten, kann man zwischen die beiden Spulen, welche den festen Elektromagneten bilden, einen der Stromkreise eines Transformators einschalten, dessen anderer Stromkreis mit einer Batterie und einem Mikrophon verbunden ist.

Diese Anordnung ist in der Hauptsache identisch mit einer bereits vor einer Reihe von Jahren beschriebenen[14]), deren Aufgabe allerdings nicht darin bestand, einen Lichtbogen zum Sprechen zu bringen. Vielmehr bezweckte dieselbe, die einem Mikrophon von besonderer Konstruktion mitgeteilten Töne mit sehr grofser Intensität durch ein Telephon wiederzugeben.

Es ist wahrscheinlich, dafs die beschriebene Anordnung die bemerkenswerten Resultate, die man sich von ihr verspricht, in der Tat zu liefern vermag, besonders wenn man an den heutigen Dynamomaschinen, hauptsächlich in dem Aufbau der Eisenkerne der festen Elektromagnete, noch einige passende Änderungen vornimmt. Es kann dann nicht schwer fallen, von einer elektrischen Zentrale aus Töne oder auch ganze Reden an alle von einer ge-

meinsamen Dynamomaschine gespeisten Bogenlampen zu übermitteln und auf solche Weise, wo ein Bedürfnis dafür vorhanden sein sollte, ein der Budapester telephonischen Zeitung ähnliches Unternehmen zu schaffen.

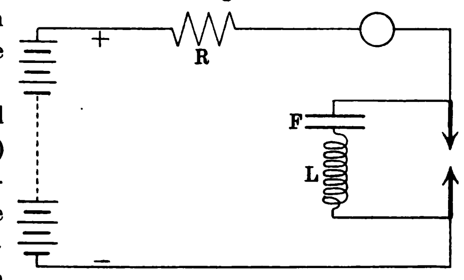
Da der Lichtbogen ebenso gut wie als Empfänger auch als telephonischer Sender dienen kann, so begreift man ohne weiteres, dafs sich zwei Bogenlampen in der Weise miteinander verbinden lassen, dafs die in der Nähe der einen erzeugten Töne durch die andere wiedergegeben werden. Soll die Anlage gut funktionieren, so mufs man vor allem in dem Stromkreis eines jeden der beiden Lichtbogen in unmittelbarer Nähe jedes Kohlestifts eine Selbstinduktionsspule anbringen, die einer zwecklosen Zerstreuung der oszillierenden Ströme in dem Stromkreise vorbeugt. Ferner wird eine der Kohlen der einen Lampe mit einer der Kohlen der zweiten Lampe durch einen Draht in unmittelbare Verbindung gesetzt; die beiden anderen Kohlen sind an die Belegungen eines Kondensators von geeigneter Kapazität angeschlossen. Auf diese Weise bleiben die Hauptströme der beiden Lichtbogen voneinander unabhängig, während die Stromschwankungen durch den Stromkreis der vier Kohlen und des Kondensators recht wohl von dem einen Lichtbogen auf den anderen übergehen können. Man ist also im stande, vermittelst zweier auf die beschriebene oder auf eine andere passende Art miteinander verbundener Bogenlampen zwischen zwei voneinander entfernten Orten Gespräche auszutauschen, ganz wie dies bei den gewöhnlichen Telephonanlagen geschieht.

Die bisher beschriebenen Versuche stehen in unmittelbarer Beziehung zur drahtlosen Telephonie, von der im nächsten Paragraphen die Rede sein wird. Andere Versuche, über die wir vorher noch kurz berichten wollen, betreffen den sogenannten musikalischen Lichtbogen. Eine Anwendung zur Übertragung von Signalen haben dieselben bis jetzt nicht gefunden, aber die Möglichkeit einer solchen ist darum nicht ausgeschlossen. Dieselben sind überdies von besonderem Interesse, weil sie ein Mittel bieten, um mit Leichtigkeit Wechselströme von grofser Intensität und ungemein hoher Wechselzahl zu erhalten.

Es handelt sich um die folgende Erscheinung, die Duddell[15]) bei seinen Versuchen über das sprechende Licht beobachtete. Führt man von den Kohlen eines Lichtbogens (Fig. 254) zwei Drähte, den einen direkt, den anderen durch eine Selbstinduktion L hindurch zu den Belegungen eines Kondensators F von nicht zu

geringer Kapazität, so werden diese Drähte alsbald von einem intensiven Wechselstrom durchflossen und der Lichtbogen gibt einen musikalischen Ton von sich, dessen Höhe von dem Abstand zwischen den Kohlen, der Kapazität des Kondensators und der Selbstinduktion der Spule abhängt. Ordnet man eine Reihe Kondensatoren von verschiedener Kapazität und Spulen von verschiedener Selbstinduktion in der Weise an, dafs sie vermittelst einer Art von Klaviatur einzeln oder zusammen mit dem Lichtbogen verbunden werden können, so kann man mit diesem eigenartigen musikalischen Instrument durch einfaches Niederdrücken der Tasten Töne von verschiedener Höhe hervorbringen.

Fig. 254.



Schon vor Duddell hatte übrigens Lecher[16]) mit einer der Fig. 254 ähnlichen Schaltung Versuche angestellt, um den vermuteten diskontinuierlichen Charakter des Lichtbogens nachzuweisen. Wirklich beobachtete er den Wechselstrom in der den Kondensator enthaltenden Zweigleitung, sowie das gleichzeitige Pfeifen des Lichtbogens, aber er schenkte dieser Erscheinung keine sonderliche Aufmerksamkeit.

Damit der Duddellsche Versuch gut gelingt, empfiehlt es sich, den Lichtbogen zwischen homogenen Kohlen zu erzeugen und dieselben in geringem Abstand voneinander zu halten.

Eine vollständige Erklärung, welche alle Einzelheiten der geschilderten eigentümlichen Erscheinung umfafst, ist noch nicht gefunden. Immerhin läfst sich die Erscheinung des musikalischen Lichtbogens mit den Tönen vergleichen, die durch Anblasen einer mit einem Mundstück versehenen Röhre, z. B. einer Zungenpfeife, oder auch durch Einführen einer Flamme in eine Röhre, wie bei der klassischen chemischen Harmonika, hervorgebracht werden. Das Ausströmen der Luft aus dem Mundstück der Pfeife oder des Gases aus der Öffnung, auf der die Flamme brennt, findet nicht gleichförmig statt; es treten Ungleichmäfsigkeiten auf und erzeugen Wellen, die sich durch die Röhre fortpflanzen, am Ende derselben zurückgeworfen werden und sich zu stationären Wellen zu verbinden streben. Diese aber können nur dann zu stande kommen, wenn die Länge der Röhre (wir wollen annehmen, die Röhre sei an den

Enden offen) gleich der halben Wellenlänge des erzeugten Tones oder gleich einem Vielfachen davon ist; in diesem Falle vermag nämlich die Luftsäule der Röhre nur in bestimmten Perioden zu schwingen, und zwar mit besonderer Intensität in derjenigen, die dem Grundton der Röhre entspricht. Wir wollen nun annehmen, der Strom, welcher durch die elektrische Bogenlampe fliefst, sei nicht von genau konstanter Stärke, sondern erleide beständig geringe Schwankungen. Diese Schwankungen, deren Auftreten in Ungleichförmigkeiten der Kohlen seine Erklärung findet, müssen sich auch in der Zweigleitung geltend machen; ähnlich wie in der Pfeife, deren Grundton erregt wird, müssen in dem abgezweigten Stromkreise durch eine Art von Resonanz elektrische Schwingungen von grofser Amplitude entstehen, deren Periode derjenigen des Stromkreises entspricht. Diese Schwingungen wirken auf den Lichtbogen ganz in der gleichen Weise wie die bei den vorher beschriebenen Versuchen vermittelst des Mikrophons erzeugten. Wie dort, so mufs also auch hier der Lichtbogen einen Ton von der betreffenden Schwingungsperiode von sich geben.

Peuckert[17]) hat das gleiche Ergebnis wie Duddell auch ohne besondere Selbstinduktionsspule im abgezweigten Stromkreise erzielt; die einzige Selbstinduktion war diejenige der beiden Drähte, welche die Kohlen des Lichtbogens mit den Belegungen des Kondensators verbinden. Der letztere mufs in diesem Falle eine sehr grofse Kapazität besitzen; der Lichtbogen soll nur kurz sein und zwischen homogenen Kohlen erzeugt werden. Auch bei dieser Anordnung gibt der Lichtbogen einen Ton von sich, und so lange dieser anhält, wird der abgezweigte Stromkreis von einem Wechselstrom durchflossen. Nach den Messungen von Peuckert kann dieser Strom eine bedeutende Stärke erlangen. Bei einem Versuche betrug z. B. die Potentialdifferenz zwischen den Kohlen des Lichtbogens 55 Volt und die Intensität des Stromes, der den Lichtbogen unterhielt, 6 Ampère; dagegen erreichte der Wechselstrom in dem abgezweigten Stromkreise eine Stärke von 17 Ampère mit 8788 Wechseln in der Sekunde. Die geschilderte Anordnung gibt also ein Mittel an die Hand, um mit gröfster Leichtigkeit Wechselströme von sehr hoher Wechselzahl und grofser Intensität zu erlangen. Mit diesen Strömen läfst sich eine Reihe interessanter Versuche ausführen, wie die bekannten von Tesla und Elihu Thomson, welche die eigentümlichen Wirkungen rasch wechselnder Ströme in ein helles Licht setzen. Von den Strömen der in

der Technik benutzten Alternatoren unterscheiden sich die mit der beschriebenen Anordnung erzeugten durch ihre hohe Wechselzahl, die so weit steigen kann, dafs der von dem Lichtbogen ausgehende Ton nicht mehr hörbar ist. Bis dahin hatte Wien[18]) vermittelst besonderer Apparate die höchste Wechselzahl, nämlich 17000 Wechsel in der Sekunde, erreicht; mit der geschilderten Anordnung läfst sich dieselbe ohne Zweifel überschreiten und die Erscheinungen, die mit der Frequenz zusammenhängen, müssen einen besonders ausgeprägten Charakter annehmen.

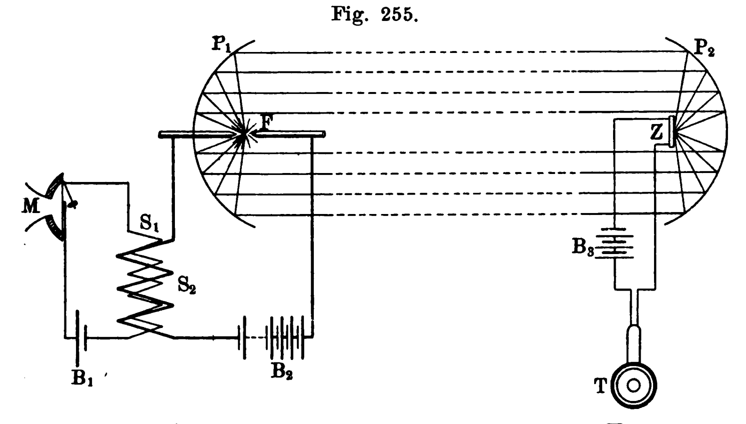
Die Duddellsche Schaltung wiederum liefert Wechselströme, deren Frequenz sich von derjenigen der Schwingungen, die in der Telegraphie durch elektromagnetische Wellen zur Verwendung kommen, nur wenig unterscheidet. Das beständige Anwachsen der Entfernungen, auf die telegraphiert wurde, und insbesondere die Versuche zur Lösung des Problems der Syntonie haben nämlich dazu geführt, dafs immer gröfsere Wellenlängen angewendet wurden, also die Frequenz immer mehr herabgesetzt wurde. Es ist deshalb möglich, dafs man auch in der drahtlosen Telegraphie durch elektromagnetische Wellen die Entladungen der Oszillatoren oder Kondensatoren in Zukunft durch die anhaltenden Schwingungen der Duddellschen Schaltung wird ersetzen können. Wie schon im dritten Teile wiederholt hervorgehoben wurde, sind die durch Entladungen erzeugten Schwingungen stark gedämpft und dauern deshalb nach jeder Entladung nur sehr kurze Zeit an. Dagegen sind die von der Duddellschen Schaltung hervorgebrachten Schwingungen frei von Dämpfung und man kann sie beliebig lange fortsetzen; die Syntonie, die mit den bisherigen Mitteln vielleicht überhaupt nicht zu verwirklichen ist, würde sich also mit dem neuen Verfahren möglicherweise vollkommen erzielen lassen.

67. Drahtlose Telephonie.

Im vorstehenden Paragraphen sahen wir, dafs Simon die von dem sprechenden Lichtbogen ausgesandten Strahlen auf eine Selenzelle, mit der ein Telephon samt einer Batterie verbunden war, fallen liefs und dadurch die Wiedergabe der in das Mikrophon der anderen Station gesprochenen Worte erzielte. Verbindet man mit der Bogenlampe einen passenden Reflektor, so läfst sich die Entfernung zwischen derselben und der Selenzelle bedeutend steigern und man gelangt von einem einfachen Laboratoriumsversuch zu einem System der Telephonie, welches die Töne nicht durch Ver-

mittelung veränderlicher elektrischer Ströme in einer zwei Stationen miteinander verbindenden Leitung, sondern durch ein Bündel Lichtstrahlen von veränderlicher Intensität frei durch den Raum hindurch überträgt. Fig. 255 zeigt ein schematisches Bild einer derartigen Anlage. Die Sendestation enthält ein Mikrophon M, das mit einer Batterie B_1 und einer der Wickelungen S_1 eines Transformators zu einem Stromkreise vereinigt ist. Die andere Wickelung S_2 des Transformators ist in den Stromkreis der Batterie B_2 und des Lichtbogens F eingeschaltet; der letztere befindet sich im Brennpunkt eines parabolischen Spiegels P_1 und die negative Kohle ist gegen den Spiegel gewendet. Die Selbstinduktionsspule, der Kondensator und der veränderliche Widerstand sind in der Abbildung nicht wiedergegeben; selbstverständlich entspricht jedoch die gesamte Anordnung einer von jenen, die im vorstehenden Paragraphen als die wirksamsten bezeichnet wurden. Es liefse sich

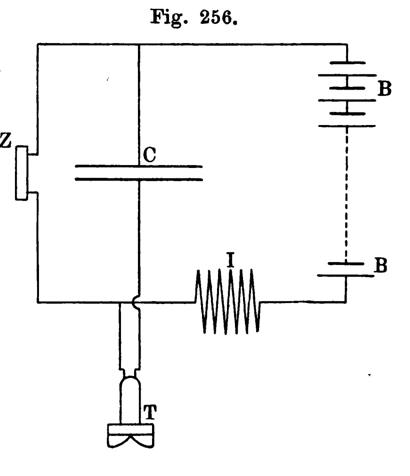
Fig. 255.



sogar eine der Schaltungen verwenden, die keinen Transformator beanspruchen. Auf der Empfangsstation erblicken wir ebenfalls einen Hohlspiegel P_2, in dessen Brennpunkt eine Selenzelle Z angebracht ist, die mit einer Batterie B_3 und einem Telephon T einen Stromkreis bildet. Anstatt des Spiegels wurde manchmal auch eine grofse Brennlinse benutzt. Auf der Empfangsstation kann man sich die skizzierte Anordnung auch durch diejenige der Fig. 256 ersetzt denken, von der weiter unten die Rede sein wird. Natürlich müssen die beiden Spiegel P_1 und P_2 gegeneinander gerichtet sein, so dafs ihre Achsen genau in dieselbe Gerade fallen; nach ein paar Versuchen gelingt es übrigens leicht, diese Bedingung zu erfüllen.

Die von Simon bevorzugte Anordnung der Empfangsstation ist in Fig. 256 abgebildet; dieselbe verfolgt den Zweck, die durch Einwirkung des Lichtes auf das Selen erzeugten Stromschwankungen vollständig dem Telephon zuzuführen und einer unnützen Zerstreuung derselben über die anderen Teile des Stromkreises vorzubeugen. Simon benutzt hierfür den gleichen Kunstgriff, dessen sich auch Duddell bedient. In den Stromkreis der Batterie *BB* und der Selenzelle *Z* wird nur eine Selbstinduktionsspule *I* eingeschaltet; das Telephon *T* bildet samt einem Kondensator *C* von passender Kapazität eine an die Klemmschrauben der Selenzelle gelegte Zweigleitung.

Fig. 256.



Später ist der geschilderte Versuch in verschiedener Weise abgeändert worden. Auf einer elektrotechnischen Ausstellung in Neuyork im Jahre 1899 wurde ein Versuch vorgeführt, bei welchem die Empfangsstation anstatt mit einer Selenzelle mit einem Radiophonempfänger nach Art desjenigen von Mercadier ausgestattet war[19]). Im Brennpunkt des Hohlspiegels der Empfangsstation befand sich ganz einfach ein kleiner mit Kohlenfäden angefüllter Glasballon, von dessen Mündung Gummischläuche ausgingen, die man an das Ohr legte. Auf 120 m Entfernung zwischen den beiden Stationen wurden die Töne anscheinend mit einem Drittel der Intensität wiedergegeben, die sie auf der Sendestation besafsen.

Den sprechenden Lichtbogen der Sendestation hat Ruhmer[20]) ebenfalls durch eine andere Vorrichtung ersetzt. An der schwingenden Membran eines Telephons ist ein Plättchen aus Kalk oder Zirkonerde befestigt; eine Knallgasflamme, die gegen das Plättchen gerichtet ist, bringt dasselbe zum Glühen. Man hat es also mit dem sogenannten Drummondschen Lichte zu tun. Die Intensität dieses Lichtes ändert sich bekanntlich sehr stark, wenn die Spitze der Flamme dem Plättchen nur ein wenig zu nahe gebracht oder zu weit davon entfernt wird. Erhält nun das Telephon die veränderlichen Ströme eines Mikrophons, so gerät seine Membran und mit ihr das Kalk- oder Zirkonplättchen in Schwingungen,

die sich aus dem eben angegebenen Grunde in entsprechende Änderungen des ausgestrahlten Lichtes umsetzen. Ruhmer hat mit diesem neuen Sendeapparat sehr gute Resultate erhalten; weshalb er die Telephonmembran durch Vermittelung eines Mikrophons und nicht direkt durch die zu übertragenden Töne in Schwingungen versetzte, wird nicht gesagt. Das Gelingen des Versuches zeigt, dafs die Änderungen in dem Glühen des Kalk- oder Zirkonplättchens, welche jede Veränderung des Abstandes dieses letzteren von der Lichtquelle begleiten, ungemein rasch erfolgen.

Ruhmer hat ferner einen Empfangsapparat beschrieben, der die Selenzelle ersetzen soll. Derselbe ist gewissermafsen aus einer Verbindung des Radiophons mit dem Kohärer hervorgegangen. Eine dünnwandige Glasröhre enthält Stückchen von Kohlefäden (aus Glühlampen stammend) oder Kohlekörner oder auch Metallspäne, die vermittelst zweier Elektroden an Stelle der Selenzelle in den Stromkreis der Empfangsstation eingeschaltet sind. Die wechselnde Erwärmung, die dieser Apparat durch die Lichtwellen erleidet, versetzt nach Ruhmer die Späne oder Kohleteilchen in Schwingungen, die sich in entsprechenden Änderungen des elektrischen Leitungswiderstandes derselben äufsern. Auch ein Bolometer, d. i. ein ungemein dünner Draht, dessen Leitungswiderstand durch Erwärmung verändert wird, läfst sich nach Ruhmer an Stelle der Selenzelle verwenden.

Die besten Resultate erhält man jedoch anscheinend mit der Anordnung von Simon und Reich. Jedenfalls haben die Genannten die Bedingungen, von welchen die Stärke der geschilderten Erscheinungen abhängt, am genauesten untersucht; auf Grund ihrer Studien haben sie die für den beabsichtigten Zweck wirksamste Anordnung zu schaffen gewufst und so ist ihnen die Übertragung auf die weiteste Entfernung gelungen.

Die gröfste Wichtigkeit hat der sprechende Lichtbogen. Soll der Lichtbogen nur möglichst intensive Töne erzeugen, so ist es, wie bereits bemerkt worden, vorteilhaft, mit möglichst hoher Potentialdifferenz zwischen den Kohlen und mit möglichst langem Bogen zu arbeiten. Die Ursache ist leicht einzusehen, da der Lichtbogen, oder genauer gesagt, die glühende Gasmasse zwischen den Kohlen den tönenden Körper bildet. Im vorliegenden Falle dagegen kommt es darauf an, die von den Stromschwingungen des Mikrophons veranlafsten Änderungen der Lichtintensität so grofs als möglich zu gestalten, wogegen die mittlere Lichtintensität nicht

von Bedeutung ist. Man kann sogar sagen, dafs es bei einer bestimmten Gröfse der Änderungen der Lichtintensität Vorteil bringt, wenn der mittlere Wert der letzteren so klein als möglich ist. Bekanntermafsen beeinflufst ja ein und derselbe Unterschied in der auf das Selen fallenden Lichtintensität den Widerstand des letzteren um so stärker, je geringer die anfängliche Belichtung war; mit anderen Worten, die Empfindlichkeit des Selens gegen das Licht sinkt mit wachsender Beleuchtungsstärke. Für die drahtlose Telephonie eignet sich daher am besten ein sehr kurzer Lichtbogen, der durch einen verhältnismäfsig schwachen Strom unterhalten wird. Ein Strom von zwei oder drei Ampère zwischen einer positiven Kohle von 5 mm und einer negativen von 3 mm Dicke entspricht den geschilderten Anforderungen am besten.

Der Leser weifs, dafs die Kohlen, zwischen denen sich der Lichtbogen bildet, sich beständig verzehren. Namentlich gilt dies von derjenigen Kohle, die mit dem positiven Pol der Stromquelle in Verbindung steht; am Ende dieser Kohle entsteht der sogenannte Krater, eine Vertiefung, von der das stärkste Licht ausgeht. Reich und Simon fanden nun, dafs die Änderungen der Lichtintensität, die im vorliegenden Falle von Einflufs sind, ihren Sitz vorzugsweise im Krater haben und dafs die Gasmasse, aus welcher der Lichtbogen besteht, an der Erscheinung fast gar keinen Anteil nimmt; die Intensität des von der positiven Kohle ausgehenden Lichtes ist es, welche sich beständig ändert und in jedem Moment mit wunderbarer Genauigkeit der jeweiligen Stromstärke entspricht. Und zwar ergibt sich aus zahlreichen Beobachtungen der genannten Autoren, dafs eine und dieselbe prozentische Änderung der Stromstärke bei Anwendung schwacher Ströme die Lichtintensität des Kraters verhältnismäfsig viel stärker beeinflufst als bei Anwendung grofser Stromstärken. Auch aus diesem Grunde dürfen also keine zu starken Ströme benutzt werden.

Zu berücksichtigen ist ferner, dafs ein Lichtbogen von geringer Intensität auch räumlich enger begrenzt ist und dafs darum die von einer derartigen Lichtquelle ausgehenden Strahlen durch den von Simon und Reich benutzten ungemein sorgfältig gearbeiteten Schuckertschen Reflektor zu einem parallelen Strahlenbündel vereinigt werden. Mit einem derartigen Reflektor erhöht man die Intensität des zurückgeworfenen Strahlenbündels nur sehr wenig, wenn man den kleinen Lichtbogen durch einen intensiven, von einem starken Strome herrührenden ersetzt, denn in diesem Falle

erlangt die Lichtquelle eine gröfsere Ausdehnung und man kann nicht mehr sagen, sie befinde sich vollständig im Brennpunkt des Spiegels oder wenigstens in unmittelbarer Nähe desselben. Nach Simon und Reich erhält man mit einem Strom von 150 Ampère kaum die vierfache Intensität des reflektierten Strahlenbündels wie mit einem Lichtbogen, der nur durch einen Strom von 4 Ampère gespeist wird. Es ist dies ein weiterer Grund, die Stromintensität im Lichtbogen bei der drahtlosen Telephonie so niedrig als möglich zu halten.

Von gröfster Wichtigkeit für das Ergebnis ist ferner der Selenapparat. Dafs der Widerstand desselben möglichst klein und die durch Beleuchtung hervorgebrachte Widerstandsänderung möglichst grofs sein soll, versteht sich von selbst. Sowohl der Widerstand im Dunkeln wie die Empfindlichkeit gegen das Licht hängen nun in hohem Grade von der Struktur des Selenapparats und der Art seiner Herstellung ab. Unglücklicherweise gibt es noch kein Verfahren, nach dem man mit Sicherheit stets das gewünschte Resultat erzielen könnte; man mufs beinahe immer mehrere Selenapparate herstellen, bis man auf einen stöfst, der bei möglichst geringem Widerstand die gröfste Lichtempfindlichkeit besitzt. Simon und Reich teilen mit, dafs sie auf dem Wege sind, die Konstruktion der Selenapparate bedeutend zu verbessern; einstweilen haben sie mit Erfolg Selenapparate benutzt, die von den Firmen Clausen und von Bronk in Berlin und Giltay in Delft herrührten. Die letzteren sind anscheinend die besten; bei einigen wird der Widerstand, der auch im Dunkeln nicht sehr hoch ist, durch das Licht zweier in 1 m Entfernung aufgestellter Kerzen bis auf die Hälfte erniedrigt. Ziemlich bedeutend ist der Widerstand der Selenzelle allerdings immer; die Empfangsstation bedarf deshalb einer Batterie von galvanischen Elementen oder Akkumulatoren von hoher elektromotorischer Kraft; bei den Versuchen von Simon und Reich betrug diese 50 bis 120 Volt. Demgemäfs mufs natürlich die Spule des Telephons aus vielen Windungen eines sehr dünnen Drahtes bestehen.

Durch die günstigen Erfahrungen im Laboratorium ermutigt, nahmen Simon und Reich Versuche in gröfserem Mafsstabe vor. So wurde z. B. anläfslich der deutschen Naturforscherversammlung zu Hamburg im Jahre 1901 auf dem Dache des Hamburger Wilhelms-Gymnasiums ein Sendeapparat mit Schuckertschem Projektor von 80 cm Öffnung und 32 cm Brennweite aufgestellt;

der Empfangsapparat, der ebenfalls mit einem Konkavspiegel versehen war, fand in dem ungefähr 1 km weit entfernten physikalischen Staatslaboratorium Aufstellung. Die Versuche am 23. September 1901 waren durchaus erfolgreich. Weitere Versuche auf 1200 m Entfernung wurden in Nürnberg vorgenommen, und die Worte wurden so stark und deutlich übertragen, dafs sie wahrscheinlich die dreifache Entfernung überwunden haben würden. Später wurden in Göttingen auf 2500 m Entfernung Versuche vorgenommen; die Übertragung war auch diesmal eine so gute, dafs man offenbar noch weit von der mit dem benutzten System erreichbaren Grenze entfernt war. Die Hoffnung, dafs weitere Verbesserungen der Apparate die Tragweite der Signale noch bedeutend steigern werden, ist also jedenfalls berechtigt.

Im Vergleich mit der drahtlosen Telegraphie durch elektrische Wellen bietet das geschilderte System dieselben Vorzüge und Mängel wie das Zicklersche Verfahren. Ein besonderer Vorzug desselben ist die Raschheit, mit der die Signale aufeinander folgen können; als ein Nachteil dagegen mufs es bezeichnet werden, dafs die Signale keine bleibende Spur zurücklassen. Um diesen Nachteil zu beseitigen, hat Ruhmer[21]) neuerdings, und zwar nicht ohne Erfolg, versucht, die übertragenen Worte vermittelst des Telegraphons von Poulsen[22]) zu registrieren.

Dieser Apparat, der wie der gewöhnliche Phonograph das gesprochene Wort aufzeichnet und es jederzeit wiederzugeben vermag, besteht in der Hauptsache aus einem Stahldraht, der mit gleichförmiger Bewegung vor dem Pol eines kleinen Elektromagneten vorbeigeführt wird, dessen Windungen in den Stromkreis eines Mikrophons eingeschaltet sind. Die durch das Mikrophon hervorgerufenen Stromschwankungen rufen in der Stärke des Elektromagneten analoge Änderungen hervor und diese äufsern sich in einer von Punkt zu Punkt verschiedenen permanenten Magnetisierung des Stahldrahtes. Führt man diesen dann abermals vor dem Elektromagneten vorüber, mit dem jetzt statt des Mikrophons ein Telephon verbunden ist, so gibt dieses die Töne, welche die Änderungen der Stromstärke im Mikrophon veranlafst hatten, getreu wieder. Die veränderliche Magnetisierung des Stahldrahtes induziert nämlich in der Spule des kleinen Elektromagneten Ströme, die genau denjenigen entsprechen, die im ersten Teile des Versuches den Stahldraht magnetisiert hatten. Diese Ströme müssen daher im Telephon die gleichen Töne erwecken, wie sie in das Mikro-

phon hineingesprochen worden waren. Schaltet man nun den Elektromagneten des Telegraphons auf der Empfangsstation in den Stromkreis der Selenzelle, so erhält man eine genaue Aufzeichnung der Töne, die der sprechende Lichtbogen der Sendestation durch Vermittelung eines Bündels Lichtstrahlen dem Empfangsapparat zugesandt hatte. Diese Töne können dann jederzeit nach Belieben wiederholt werden.

Erwähnung verdient schliefslich ein interessanter Versuch von Ruhmer[23]), der ebenfalls die Registrierung der phototelephonischen Ströme ermöglicht. Ruhmer läfst die Strahlen des sprechenden Lichtbogens auf einen engen Spalt fallen und photographiert das durch denselben hindurchtretende Licht, ganz wie wenn es sich um Herstellung von Bildern für den Kinematographen handelte, auf einer lichtempfindlichen Membran, die in rascher Bewegung hinter dem Spalt vorbeigeführt wird. Je nachdem der sprechende Lichtbogen in einem bestimmten Moment ein mehr oder weniger helles Licht ausstrahlte, erscheint also die Membran nach der Entwickelung und Fixierung an der betreffenden Stelle mehr oder weniger stark geschwärzt. Setzt man nunmehr die fertige Membran mit derselben Geschwindigkeit wie vorher in einem Projektionsapparat in Bewegung, genau als ob die Aufnahmen eines Kinematographen projiziert werden sollten, und läfst man das durch die Membran hindurchgehende Licht auf eine Selenzelle fallen, so müssen die örtlichen Verschiedenheiten in der Lichtdurchlässigkeit der Membran den Widerstand der Selenzelle in bekannter Weise beeinflussen. Ein mit der Selenzelle und einer Batterie verbundenes Telephon mufs daher Töne von sich geben, die vollständig denjenigen gleichen, die bei dem ersten Versuche von dem sprechenden Lichtbogen ausgegangen waren.

Die praktische Zukunft der drahtlosen Telephonie nach Simon und Reich ist übrigens von der Möglichkeit einer Registrierung nicht unbedingt abhängig. Wie die Telegraphie durch ultraviolette Strahlen, so kann vielleicht auch diese besonders auf dem Meere Anwendung finden, da ja sowohl die Leuchttürme als auch die grofsen Dampfer im allgemeinen schon einen grofsen Teil der Einrichtungen besitzen, die für den sprechenden Lichtbogen notwendig sind. Unbeschadet seiner neuen Aufgabe könnte der Lichtbogen auch die bisherige vollkommen erfüllen.

A. Righi.

Literaturangaben.

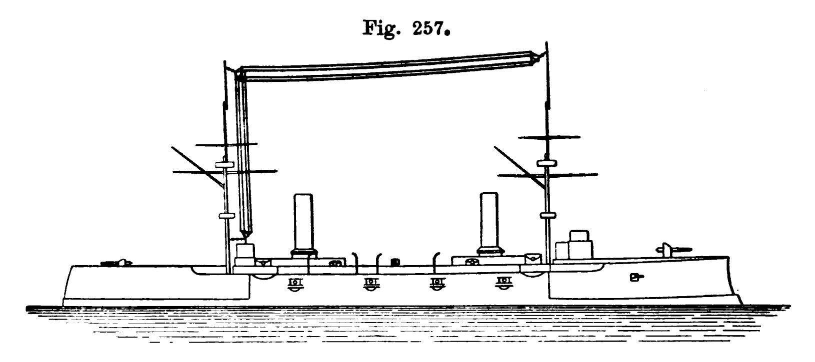
[1]) A. Righi, L'Elettricista, 15. Oktober 1878; Nuovo Cimento Ser. 3, Bd. 4, S. 233 [1878].
[2]) Willoughby Smith, Sillimans Journal 1873, S. 301.
[3]) A. Righi, Nuovo Cimento Ser. 3, Bd. 25, S. 226 [1889].
[4]) Ders., Ebenda Ser. 3, Bd. 24, S. 123 [1888].
[5]) Mercadier, Comptes Rendus Bd. 92, S. 705 [1881].
[6]) Simon, Wied. Ann. Bd. 64, S. 233 [1898].
[7]) Jervis Smith, Electrician Bd. 43, S. 16 [1899].
[8]) Simon, Physikal. Zeitschr. Bd. 2, S. 253 [1901].
[9]) Hartmann, Elektrotechn. Zeitschr. Bd. 20, S. 369 [1899].
[10]) Braun, Wied. Ann. Bd. 65, S. 358 [1898].
[11]) Ruhmer, Physikal. Zeitschr. Bd. 2, S. 325 [1901].
[12]) Duddell, Electrician Bd. 45, S. 269 [1900].
[13]) Simon und Reich, Physikal. Zeitschr. Bd. 3, S. 278 [1902].
[14]) Du Moncel, Le microphone S. 268. (Paris, Hachette et Comp.)
[15]) Duddell, Electrican Bd. 45, S. 310 [1900].
[16]) Lecher, Wied. Ann. Bd. 33, S. 609 [1888].
[17]) Peuckert, Elektrotechn. Zeitschr. Bd. 22, S. 467 [1901].
[18]) M. Wien, Drudes Ann. Bd. 4, S. 425 [1901].
[19]) Nach einer Mitteilung im „Mechaniker" Bd. 7, S. 236 [1899].
[20]) Ruhmer, Physikal. Zeitschr. Bd. 2, S. 339 [1901].
[21]) Ders., Elektrotechn. Zeitschr. Bd. 22, S. 196 [1901].
[22]) Poulsen, Drudes Ann. Bd. 3, S. 754 [1900].
[23]) Ruhmer, Ebenda Bd. 5, S. 803 [1901].

NACHTRAG.

Die Versuche auf dem Carlo Alberto.

Auf dem italienischen Kreuzer Carlo Alberto fanden während einer durch den Besuch des Königs von Italien in Petersburg veranlaſsten Fahrt nach Kronstadt und auf der Rückreise nach

Fig. 257.

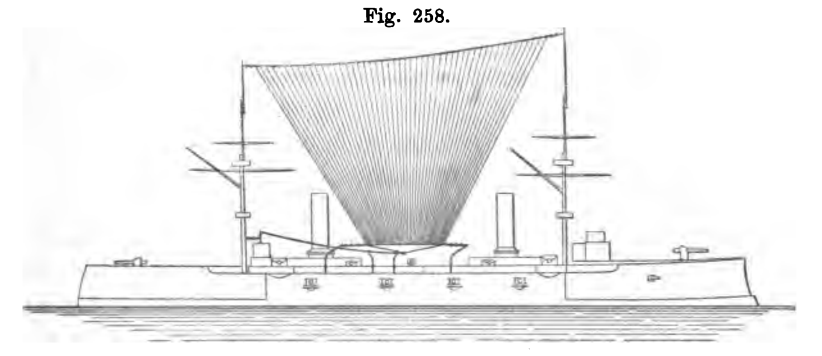


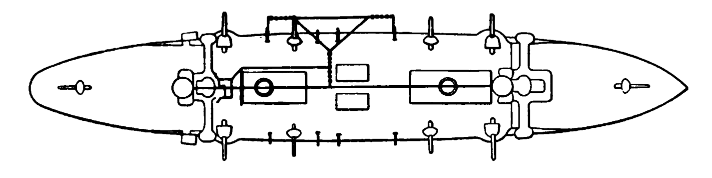
Italien umfangreiche, teilweise von Marconi selbst geleitete Versuche mit drahtloser Telegraphie statt, die S. 296 bereits kurz erwähnt wurden. Das Bemerkenswerte an diesen Versuchen ist nicht allein die Gröſse der Entfernungen, auf welche Signale übermittelt wurden, sondern auch die Tatsache, daſs die gerade Linie zwischen der Sendestation und den auf dem Schiffe installierten Empfangsapparaten sich zum groſsen Teile über festes Land erstreckte. Über diese Versuche hat nunmehr der Leutnant zur See Solari an das italienische Marineministerium einen eingehenden Bericht erstattet, dem wir die interessantesten Daten entnehmen.

Die Empfangsstation auf dem Schiffe umfaſste zwei Marconische Kohärer, welche die eintreffenden Signale durch ein Relais auf einen gewöhnlichen Telegraphenapparat übertrugen, der sie in den Zeichen

des Morsealphabets wiedergab, sowie drei von **Marconis** neuen magnetischen Wellenindikatoren, die mit einem Telephon in Verbindung standen. Die Wirkung der Wellen auf die Kohärer wurde durch einen Transformator vermittelt, der auf die von der Sendestation ausgegebenen Wellen abgestimmt war. Zum Auffangen dieser letzteren diente anfangs die in Fig. 257 abgebildete Vorrichtung aus vier parallelen Drähten, die von der Spitze des um 16 m erhöhten Fockmastes zur Spitze des Grofsmastes und längs dieses letzteren abwärts zu den Empfangsapparaten führten. Die Drähte waren an Ketten von Porzellanisolatoren aufgehängt und

Fig. 258.





zur besseren Isolierung aufserdem stellenweise von Ebonitröhren umgeben. Später, während der Carlo Alberto auf der Reede von Kronstadt vor Anker lag, wurde die geschilderte Auffangevorrichtung, um die Schwingungsperiode des Empfängers derjenigen des Senders genauer anzupassen, durch das in Fig. 258 abgebildete fächerartige System von 50 dünnen, verzinnten Kupferdrähten ersetzt, die von einem zwischen den beiden Masten ausgespannten Stahldrahtseil getragen wurden. Auf der Rückfahrt von England nach Italien wurde die Höhe der Masten, die bei den früheren Versuchen 45 m betragen hatte, auf 52 m gebracht.

Als Senderin fungierte in der Regel die von der **Marconi**gesellschaft in Poldhu (Cornwallis) für die transatlantischen Ex-

perimente errichtete Station, die sich von den übrigen für abgestimmte Telegraphie eingerichteten Stationen der gleichen Gesellschaft im wesentlichen nur durch die mächtigen Mittel zur Erzeugung besonders intensiver elektrischer Wellen und zur wirksamen Ausstrahlung derselben unterscheidet. Zu letzterem Zwecke dienen auf der genannten Station vier Sektionen von je 100 dünnen verzinnten Kupferdrähten, die zwischen vier, in 60 m Abstand voneinander errichteten hölzernen Türmen von 70 m Höhe an Stahldrahtseilen aufgehängt sind. Oben sind die einzelnen Drähte ungefähr 50 cm voneinander entfernt; die unteren Enden sind auf dem Dache des Stationsgebäudes miteinander verbunden, so dafs das Ganze einer vierseitigen Pyramide mit nach unten gerichteter Spitze gleicht. Die wechselnden Ladungen, welche diesen Drähten durch den Erreger der Sendestation mitgeteilt werden, reichen hin, um zwischen den Drähten und einem mit der Erde verbundenen Leiter 30 cm lange Funken überspringen zu lassen.

Es wurde festgesetzt, dafs die Sendestation täglich zwischen 12 und 1 Uhr mittags (mittlere Zeit von Greenwich) und zwischen 1 und 3 Uhr nachts während der ersten 10 Minuten jeder Viertelstunde zunächst die Anfangsbuchstaben des Carlo Alberto, dann den Buchstaben S in häufiger Wiederholung und endlich einen auf die interessantesten Ereignisse des verflossenen Tages bezüglichen Satz hinaustelegraphieren sollte. Die Versuche begannen unter Marconis Leitung am Mittag des 7. Juli, während der Carlo Alberto unweit von Dover, 500 Seemeilen von Poldhu und teilweise durch Landstrecken von der Sendestation getrennt, auf der Fahrt nach Nordosten begriffen war. Die mit dem magnetischen Indikator aufgenommenen Signale waren zwar infolge der unvollständigen Syntonie und des störenden Einflusses des Tageslichtes nicht sehr intensiv, aber gleichwohl deutlich vernehmbar. Auch mit dem Kohärer und dem Morseapparat wurden Telegramme von Poldhu aufgenommen. Im Laufe desselben Nachmittags trat der Carlo Alberto ferner mit den an der Ostküste von England gelegenen Stationen der „Wireless Telegraph and Signal Company“ in Verbindung, durch deren Vermittelung nach verschiedenen Punkten Europas Nachrichten gesandt und das italienische Marineministerium von dem Fortgang der Versuche beständig unterrichtet wurde.

In der folgenden Nacht war der Carlo Alberto 900 km weit von der Sendestation entfernt; trotzdem gab der magnetische Indikator die von jener ausgesandten Signale deutlich wieder, und auch

der Morseapparat funktionierte regelmäſsig. Die Übertragung war sogar, weil der störende Einfluſs des Tageslichtes wegfiel, besser als am vorhergegangenen Tage. Am folgenden Mittag, als die Entfernung von Poldhu etwa 1000 km betrug, machte sich dieser störende Einfluſs wieder geltend, und es waren nur in dem Telephon, das mit dem magnetischen Indikator in Verbindung stand, die Signale von ein paar S vernehmbar, während der durch den Kohärer betätigte Morseapparat den Dienst versagte. Dagegen langten in der Nacht vom 8. auf den 9. Juli, obschon die Entfernung wiederum gewachsen war, und die ganze Breite von England sowie die Nordspitze von Dänemark zwischen Sende- und Empfangsstation lag, die Signale wieder mit genügender Stärke an, um nicht allein auf das Telephon einzuwirken, sondern auch den Morseapparat in Tätigkeit zu setzen.

Vor Kronstadt waren die Signale anfangs auch Nachts nur schlecht zu vernehmen. Es wurde dies dem Umstande zugeschrieben, daſs hier das Wasser mit seinem geringeren Salzgehalt eine schlechtere Erdverbindung gewähre als der stärker salzhaltige offene Ozean; die bereits geschilderte Abänderung der Auffangevorrichtung genügte indessen, um den Signalen die frühere Deutlichkeit wiederzugeben.

Auf der Rückfahrt von Kronstadt in der Nacht vom 22. auf den 23. Juli, während der Carlo Alberto sich nordöstlich von der Insel Gotland befand, waren die Signale in dem Telephon so deutlich vernehmbar, daſs man, wie der Bericht versichert, kaum glauben konnte, von der Sendestation durch eine, noch dazu teilweise über Land gelegene Entfernung von 2000 km geschieden zu sein. Gegen zwei Uhr nachts begann allerdings, nach der Aussage des Berichtes, die Übertragung durch häufige atmosphärische Entladungen gestört zu werden; mit dem Kohärer waren die einlangenden Telegramme nicht mehr sicher aufzunehmen, dagegen vermochte man im Telephon die zwischen den atmosphärischen Entladungen einlangenden Buchstaben so gut von jenen zu unterscheiden, daſs die Depeschen, die mit einer Geschwindigkeit von 15 Worten in der Minute aufgegeben wurden, noch zu entziffern waren. Durch Anlegung geeigneter Abzweigungen von verschiedener Schwingungsperiode an die Auffangedrähte gelang es übrigens, die durch die atmosphärischen Entladungen verursachten Störungen fast ganz zu beseitigen. Um 2 Uhr 30 Minuten wurden jedoch die Signale mit einem Male bedeutend schwächer und hörten bald vollständig auf.

Durch eine Drehung des Schiffes, welche den aus den Auffangedrähten gebildeten Fächer der Richtung nach der Sendestation entgegenstellte, hoffte man dem Übel beizukommen, allein ohne Erfolg. Später wurden die Signale wieder stärker, aber sie blieben veränderlich, wie Solari meint, infolge einer Phasendifferenz zwischen den auf verschiedenen Wegen übertragenen Wellen. Das Schlufssignal um 2 Uhr 45 Minuten war wiederum vollkommen deutlich zu vernehmen.

Am 24. Juli lag der Carlo Alberto auf der Innenreede von Kiel vor Anker; von da ab langten die Signale aus Poldhu so regelmäfsig und mit solcher Deutlichkeit an, dafs der magnetische Indikator mit dem Telephon von nun an entbehrt werden und die Aufnahme beständig mit Kohärer und Morseapparat vor sich gehen konnte.

Bemerkenswerte Resultate wurden auch auf dem letzten Teile der Reise, auf der Rückfahrt von England nach Italien, erzielt. Wir verzichten jedoch auf eine ausführliche Wiedergabe derselben und bemerken nur, dafs der Carlo Alberto noch im Hafen von Cagliari, über 1580 km weit von der Sendestation entfernt, von dieser Signale erhielt, und dafs in nur wenig geringerer Entfernung sogar vollständige Telegramme registriert wurden.

Als Ergebnis der umfangreichen Versuche bezeichnet Solari den Nachweis:

1. dafs für die Ausbreitung der elektrischen Wellen, wenn nur der Aufwand an Energie der zu überbrückenden Entfernung entspricht, keine Grenze besteht;

2. dafs auch Landstrecken zwischen Sende- und Empfangsstation der Übertragung kein Hindernis entgegensetzen;

3. dafs das Sonnenlicht die Tragweite der elektrischen Wellen vermindert und deshalb einen gröfseren Aufwand an Energie notwendig macht, und dafs bei elektrischen Entladungen in der Atmosphäre minder empfindliche Empfangsapparate benutzt und deshalb ebenfalls gröfsere Energiemengen aufgewendet werden müssen;

4. dafs der magnetische Indikator in Bezug auf Empfindlichkeit, praktische Brauchbarbeit und Zuverlässigkeit jedem Kohärer überlegen ist; sowie endlich

5. dafs die Telegraphie durch elektrische Wellen nach Marconis System, dank den neuesten von dem jungen Erfinder geschaffenen Fortschritten, in die Reihe der für Krieg und Frieden

wichtigsten Anwendungen der Elektrizität eingetreten und jeder Entfernung vollkommen gewachsen ist.

So weit der Bericht Solaris. Von den Ergebnissen, zu welchen derselbe gelangt, bilden die drei ersten zu den Erfahrungen, die schon gelegentlich früherer Versuche Marconis und anderer Erfinder gemacht wurden, eine erfreuliche und willkommene Bestätigung.

Ob der magnetische Indikator, wie Solari weiter bemerkt, den Kohärer vollständig zu verdrängen vermag, wird erst die weitere Erfahrung lehren können; die Überlegenheit des ersteren soll ja auch erst bei gröfseren Entfernungen zur Geltung kommen. Und wie ist es endlich mit der unbegrenzten Leistungsfähigkeit und der praktischen Verwendbarkeit der drahtlosen Telegraphie auf jede Entfernung bestellt, die nach Solari ebenfalls ein Ergebnis, und zwar gewifs nicht das unwichtigste, der Carlo Alberto-Versuche bilden sollen? Um hierüber ein Urteil zu gewinnen, ist es ungemein wichtig, die Erfahrungen kennen zu lernen, die N. Maskelyne, der Leiter einer Station für drahtlose Telegraphie in Porthcurnow, 18 engl. Meilen von der Sendestation in Poldhu, während jener Versuche gesammelt hat und über die er im „Electrician“ berichtet. Die Apparate in Porthcurnow registrierten die in Poldhu aufgegebenen und für den Carlo Alberto bestimmten Signale und Telegramme so getreulich, dafs Maskelyne beinahe gezwungen war, jenen Versuchen Schritt für Schritt zu folgen. Aus den Aufzeichnungen des Morseapparats in Porthcurnow ergibt sich zunächst, dafs eine Mitteilung, die nach dem italienischen Bericht am Morgen des 9. September von dem Empfangsapparat des auf der Fahrt von Cagliari nach Spezia begriffenen Carlo Alberto registriert wurde, schon seit dem Abend des 6. September zu wiederholten Malen von der Sendestation in Poldhu ausgegeben worden war, ohne dafs die Wellen, welche diese Nachricht übermitteln sollten, den Empfangsapparat des italienischen Schiffes erreicht oder merklich beeinflufst hätten. Die Übertragung auf so weite Entfernungen scheint also selbst bei Aufwand so grofser Energiemengen, wie sie in Poldhu zur Verfügung stehen, durch Faktoren beeinflufst zu werden, welche noch so wenig bekannt sind, dafs der schliefsliche Erfolg beinahe dem Zufall überlassen bleibt. Die Tatsache, dafs die von der Station in Poldhu ausgesandten Signale auch in Porthcurnow registriert wurden, zeigt aber vor allem, wie weit man praktisch noch von dem Zwecke, welchen die

Syntonie erreichen soll, entfernt ist; mufs doch die Station in Poldhu, wie sich aus den Aufzeichnungen in Porthcurnow ergibt, um die Depeschen für beliebige Empfangsapparate weniger verständlich zu machen, zu dem primitiven Mittel greifen, gleichzeitig mit der für einen entfernten Empfangsapparat bestimmten Depesche durch einen zweiten Sender, der minder intensive Wellen erzeugt, eine Folge von Signalen auszugeben, welche bei näheren Empfangsapparaten sich über die eigentliche Depesche lagern und das Verständnis derselben verhindern sollen. Endlich aber, und dies ist vielleicht das Wichtigste, zeigen die Mitteilungen von Maskelyne, wie störend gerade für den Verkehr auf kleinere Entfernungen derartige, mit gewaltigen Energiemengen angestellte Versuche sind. Man mufs darum angesichts dieser neuesten Versuche die bereits an anderer Stelle dieses Buches ausgesprochene Befürchtung wiederholen: dafs das Streben nach dem ungewissen Ziel einer drahtlosen Telegraphie auf grofse Entfernungen und nach einem überflüssigen Wettbewerb mit der Leitungstelegraphie keineswegs das ersehnte Resultat zeitigen, dafür aber die eigentliche Aufgabe des neuen Verkehrsmittels vollständig in Frage stellen wird. B. Dessau.

NAMENVERZEICHNIS.

A.

B.

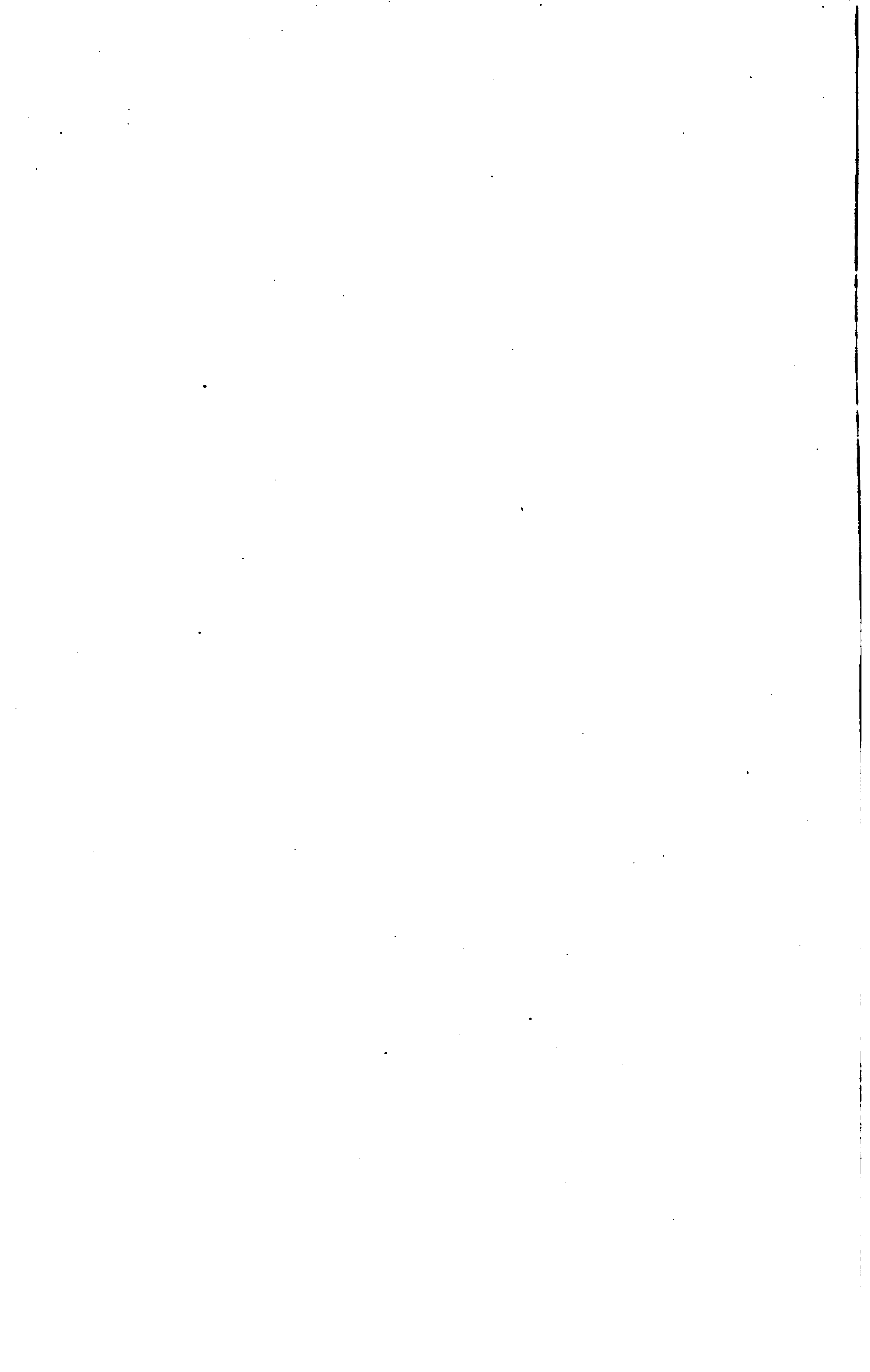
C.

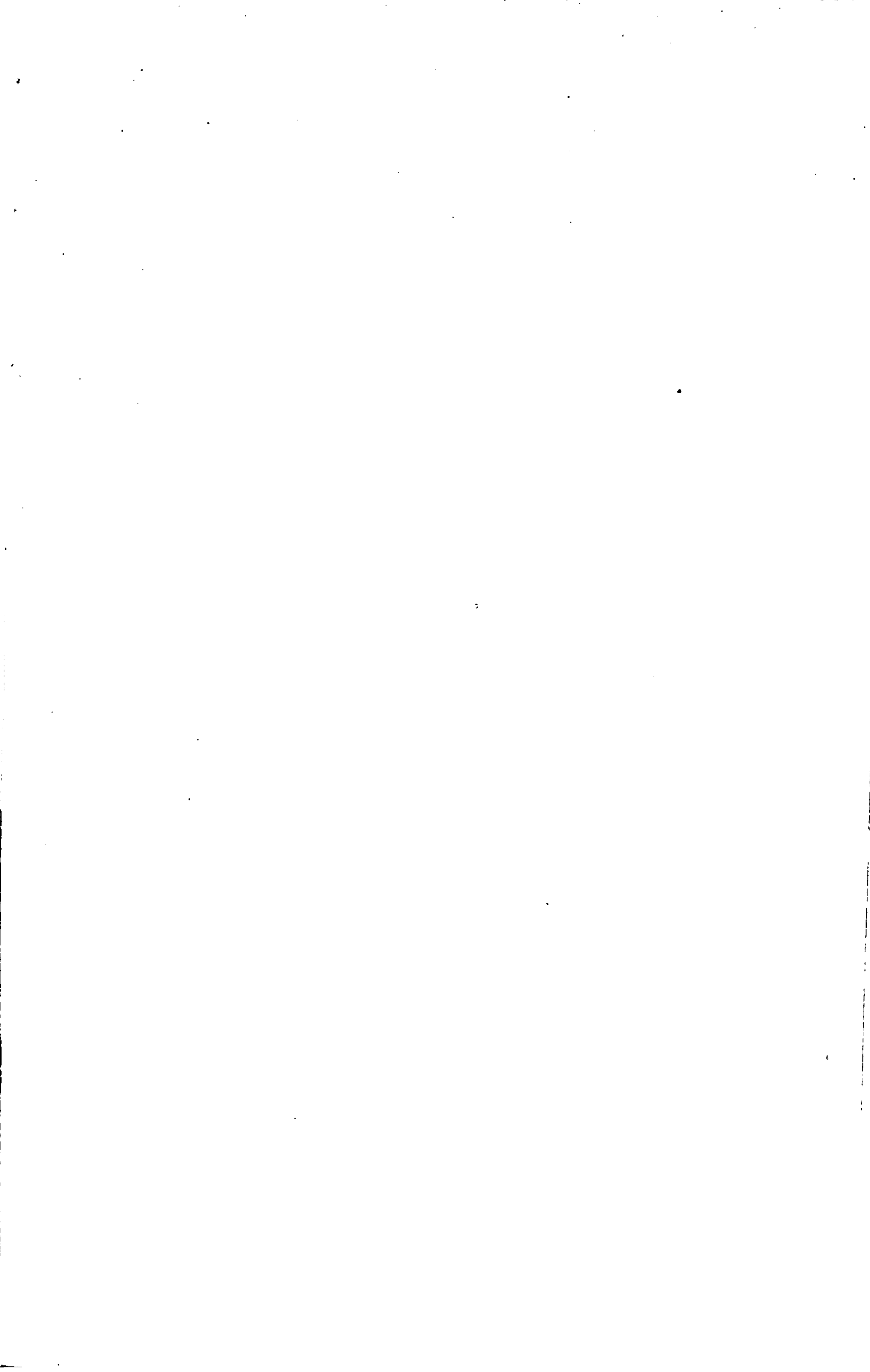
D.

E.

F.

G.






B89081504532A

